



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADE MARK OFFICE

⑤

VERIFICATION OF TRANSLATION

I, Michael Wallace Richard Turner, Bachelor of Arts, Chartered Patent Attorney, European Patent Attorney, of 1 Horsefair Mews, Romsey, Hampshire SO51 8JG, England, do hereby declare that I am conversant with the English and German languages and that I am a competent translator thereof;

I verify that the attached English translation is a true and correct translation made by me of the attached documents in the German language;

I further declare that all statements made herein of my own knowledge are true and that all statements made on information and belief are believed to be true; and further that these statements were made with the knowledge that willful false statements and the like so made are punishable by fine or imprisonment or both under Section 1001 of Title 18 of the United States Code and that such willful false statements may jeopardize the validity of the application or any patent issued thereon.

Date: April 3, 2002

M W R Turner

Berlin 11th February 2002
Our ref: FB1045 JVO/js
Direct dial: 030/841 887 0
Applicants/proprietors: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung
der angewandten Forschung e.V.
Office ref: New application

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.
Leonrodstrasse 54, D-80636 Munich

Arrangement and method for spatial visualization

The invention concerns an apparatus for image data computation and for synchronous image data output. The invention further concerns a graphics master module, a graphics client module and an image switching module. The invention further concerns an arrangement for producing
5 and simultaneously reproducing at least two partial light images which together can be perceived as a three-dimensionally acting light image, as well as an arrangement for producing and reproducing in succession in respect of time at least two partial light images which together can be perceived as a three-dimensionally acting light image. Finally the
10 invention concerns a method of synchronously computing and outputting image data of at least two partial images of an image.

The representation of images which have a three-dimensional effect is based on the reproduction of two partial images on a picture screen using stereo projection. A first partial image reproduces a scene in the
15 way that the left eye of a viewer would see it, while a second partial

image reproduces it in the way that it would appear to the right eye of the viewer. In that situation, the viewer looks through special spectacles which provide each eye only with the image which is intended for same. By virtue of separate perception of the partial images with the left eye and
5 the right eye, the viewer has the impression of three-dimensional perception.

This effect can be produced by means of active or passive stereo projection methods. Active methods project partial images for the left eye and the right eye alternately at high frequency (about 100Hz). The
10 viewer wears a pair of filter spectacles whose lenses have a variable degree of transmission. The partial image which is not wanted for the respective eye is blocked out by the light transmission of the lens in question being switched synchronously to a low value for image change purposes. That can be controlled for example by means of infra-red
15 signals by the image computation and output system. Active methods afford the advantage that basically only one projector is required for each projection surface, which projector alternately projects partial images for the left eye and the right eye.

Passive methods project the partial images for both eyes at the
20 same time, but involving different polarization of the light. They therefore require two projectors for each projection surface, the partial images of which are always simultaneously projected onto the projection surface where they are superimposed on each other. The partial image for the left eye can be for example polarized horizontally and the partial image for
25 the right eye vertically. Left-circular and right-circular polarization is also used. The viewer again wears a pair of filter spectacles whose lenses respectively only transmit light of one polarization direction. In the first-mentioned example the left spectacle lens would only transmit horizontally polarized light and the right spectacle lens would only
30 transmit vertically polarized light. The partial image which is unwanted for the respective eye is blocked by virtue of its "wrong" polarization. Passive stereo projection methods can operate at lower refresh

frequencies than active methods as each projector serves only one eye. For example frequencies of about 50Hz are used.

Various arrangements with different numbers of projection surfaces are known. If two or more projection surfaces are used they are generally
5 perpendicular to each other in order to cover a field of vision of the viewer which is as large as possible, and thereby to give him a more realistic three-dimensional impression. Two partial images are formed on each projection surface, of which partial images each reproduce one part of the field of vision of an eye. If an image which has a three-
10 dimensional effect is produced not only on four mutually perpendicularly disposed walls but also on floor and ceiling, the three-dimensional optical impression is perfect and the viewer thinks that he is "immersed" in the illustrated scene.

Polarization-maintaining scattering walls are used for image
15 projection in passive methods. Polarization-maintaining scattering walls are commercially available both in the form of back-scattering and also light-transmitting, forward-scattering arrangements. Image projection onto the scattering wall can therefore also be effected when using passive methods from the side of the viewer or from the side of the scattering
20 wall, which is remote from the viewer.

The use of linearly polarized light involving mutually perpendicular vibration directions of the electrical field vector has the advantage in regard to the passive methods that the suppression of the respective other polarization direction by the spectacle lenses is particularly strong.
25 However, the proportion of "wrongly" polarized light which is transmitted by both spectacle lenses rises when the viewer inclines his head. For that reason, arrangements which also project an image having a three-dimensional effect onto the floor and/or at the ceiling basically use circularly polarized light. The disadvantage of that method is the poorer
30 suppression of the respective "wrongly" polarized light.

In the meantime, interactive projection systems for three-dimensionally acting images are known, in which the viewer can alter the

illustrated scene, by means of an input device. For example, the viewer can alter his apparent viewpoint or angle of view relative to the illustrated three-dimensional scene by means of suitable control commands and thus has the impression of moving within that scene as in an actual three-dimensional environment.

Besides one or more projection surfaces and a corresponding number of projectors, interactive systems of that kind have one or more input devices. The input devices used for example are sensors which are fixed to the head of the viewer and which make it possible to determine the direction of view, as well as pointing devices or sensor gloves. The input device and the projectors are connected to a graphics computer which, on the basis of the signals of the input device for each projector, computes the next scene which is to be illustrated and outputs it thereto.

A particularly important aspect of projection control is synchronization of the partial image projection on the different projection surfaces. To achieve the three-dimensional effect, the various partial images for the left eye and for the right eye must be respectively simultaneously visible on all projection surfaces. This means that all partial images must simultaneously represent the overall scene in one and the same phase (the same "frame"). Image computation ("rendering") for the individual partial images may therefore not "diverge" in such a way that one partial image illustrates the scene at a more advanced stage than another.

This problem is resolved in an active stereo projection system known by the trademark "CAVE" having six projection surfaces by means of an integrated computation and control system for the partial images to be projected of all six projectors. For that purpose this system uses an SGI Onyx2-computer from Silicon Graphics with twelve R10000 processors, a 4 Gigabyte working memory and a graphics unit with three InfiniteReality Graphics Pipes, each of which includes two raster managers with 64 Megabyte working memory.

The disadvantage of that system is that the computation and control system used is a highly developed expensive special item which is cost-intensive in terms of procurement and maintenance.

5 The object of the invention is to provide an apparatus for image data computation and for synchronous image data output, which can be produced at low cost.

In accordance with the invention that object is attained by an apparatus for image data computation and for synchronous image data output having the features of claim 1. Further independent and
10 respectively separately patentable aspects of the concept of the invention constitute a graphics master module having the features of claim 11, a graphics client module having the features of claim 13, an image switching module having the features of claim 15, an arrangement for producing and simultaneously reproducing at least two partial light images
15 which can be perceived together as a light image having a three-dimensional effect, with the features of claim 17, an arrangement for producing and reproducing in succession in respect of time at least two partial light images which can be perceived together as a light image having a three-dimensional effect, having the features of claim 24, and a
20 method of synchronously computing and outputting image data of at least two partial images of an image, having the features of claim 35.

The apparatus according to the invention for image data computation and synchronous image data output has a master-client structure. A graphics master unit – hereinafter also referred to for the
25 sake of brevity as the graphics master – and at least two graphics client units – for the sake of brevity referred as graphics clients – are connected together by way of a first message channel and interchange messages with which synchronization of their processes is achieved. The concept of the invention permits a structure which is substantially simplified in
30 comparison with known apparatuses and which also permits production of the apparatus at low cost.

The graphics master unit has a first random access memory in which a first scene graphics data file is stored. The term scene graphics data file is used to denote a file with definitions of objects and/or events which can be illustrated in an image and in which object or event
5 parameter values are associated with the objects and/or events. Scene graphics data files can be produced in different file formats, for example VRML, X3D, Inventor or Performer. The random access memory can be for example in the form of an RAM module in order to be able to carry out the writing and reading processes particularly quickly.

10 The apparatus according to the invention preferably has one or more signal inputs for external input devices, by way of which for example a viewer can influence the image being illustrated. The signal inputs are connected to the graphics master unit and influence the re-computation, implemented cyclically thereby, of the object and/or event parameter
15 values of the first scene graphics data file, into which the hitherto applicable object and/or event parameter values also pass.

During or after re-computation of the object and event parameter values the graphics master produces a first message which it then sends by way of the first message channel to all connected graphics clients. The
20 first message, also referred to as an update message, includes at least a part of the freshly computed object and/or event parameter values. Not all parameter values have to be communicated in each cycle to the graphics clients, as will be described in greater detail hereinafter. The communicated object and event parameter data involve for example
25 values, freshly computed by the graphics master, of the fields of nodes of a scene graphics data file produced in the file format VRML (Virtual Reality Modeling Language).

Each graphics client unit – also referred to for the sake of brevity as a graphics client – which is connected to the graphics master has a second
30 random access memory into which a second scene graphics data file is loaded. The second scene graphics data file is a copy of the first scene graphics data file with the object and event parameter values which were

last communicated from the graphics master. Therefore the first and second scene graphics data files are generally identical. The object and event parameter values of the second scene graphics data file are in contrast delayed by one computation cycle with respect to the values of the first data file.

The object and event parameter values contained in the received update message are stored by the graphics client unit in the second scene graphics data file, in which case the previous values are overwritten insofar as updated values for same are contained in the update message. The graphics clients therefore update their second scene graphics data file in the respective second random access memory with each update message from the graphics master. The graphics master is always one step ahead with the computation.

On the basis of the second scene graphics data file each graphics client computes image data of an image and sends a second message, hereinafter also referred to as the "computation finished" message, to the graphics master unit by way of the first message channel, which signals conclusion of the image data computation procedure in respect of the image. The image data produced are delivered at an image data output.

The image data produced by the graphics clients preferably involve raster image data. An image in the form of pixels arranged in matrix form are defined with raster image data. Each pixel can be identified by its matrix co-ordinates. Additionally associated therewith are chrominance or luminance values in one of the current color systems (for example RGB).

The computed image data can be modified in subsequent remapping procedures by the graphics clients. For example, in the case of stereo projection, a partial image, for example for the left eye, can be divided by the associated graphics client into two or more partial image portions which are to be reproduced on a corresponding number of projection surfaces which are disposed in angular relationship with each other. For that purpose, for one or both partial image portions, conversion of the image data in question is effected in dependence on the

arrangement of the projector relative to the projection surfaces and the angle between the projection surfaces, in such a way that the angle between the projection surfaces cannot be detected on the part of a viewer of the projected partial image portions.

5 The input of the "computation finished" message from all graphics clients causes the graphics master to again update the object and event parameter values of the scene graphics data file and thus to start a fresh image computation cycle.

10 Re-computation of the object and event parameters of the first scene graphics data file by the graphics master can be effected while the graphics clients are executing the image data computation on the basis of the last-communicated parameter values. The apparatus according to the invention involves an approximately uniform loading of the graphics master unit and the graphics client units connected thereto. The
15 respective computation processes are therefore of approximately equal length so that overall the result achieved is an optimum computation speed which permits high image refresh rates.

20 Nonetheless, by virtue of possibly different image contents in respect of the images to be computed by the graphics clients, the possibility cannot be excluded that different computation durations occur in relation to graphics master and graphics clients, or in the comparison of the graphics clients. An essential advantage of the apparatus according to the invention is that image data computation and image data output are always simultaneously started by the graphics client units, on the basis of
25 exchange of the stated messages. Therefore all graphics clients always compute their image on the basis of the same object and event parameter values. If the image computation procedure of one graphics client is delayed the graphics master waits for the conclusion of the delayed image computation procedure before all graphics clients simultaneously receive a
30 fresh update message. "Divergence" of the graphics clients is not possible in the case of the apparatus according to the invention. That is important in regard to each output of variable images in the form of a plurality of

partial images by a plurality of projectors. For, this ensures that the outputted partial images are always synchronously computed and outputted.

5 There is no need for the graphics master unit and the graphics client unit to be integrated into one device. On the contrary, the apparatus precisely enjoys its advantages if the graphics master unit and the graphics client units are separate from each other, for example being implemented on different computers.

10 In actual fact, the apparatus according to the invention can be implemented on PCs with off-the-shelf hardware equipment, which are connected together by way of a standard Ethernet network. One PC operates as the graphics master and a further PC can be provided for each graphics client. The graphics master and the graphics client can be implemented in the form of software modules. A further embodiment
15 involves an integrated software package which permits a selection between the master or the client functionality.

The use of off-the-shelf PC hardware has the advantage that individual components such as graphics card, processor and so forth can be replaced in the course of time without any problem by more powerful,
20 inexpensive models. As a result the system can always be kept at the currently highest status of power and efficiency, at low maintenance costs.

The apparatus according to the invention is suitable for active and passive stereo projection methods. The above-described parameter and
25 image data computation procedure is independent of the projection method. A first graphics client computes a first partial image which reproduces the field of vision of the left eye and a second client computes a second partial image which reproduces the field of vision of the right eye. If there are a plurality of projection surfaces the apparatus
30 correspondingly has for each further projection surface two further graphics clients which execute the partial image computation procedure for the left eye and the right eye respectively. The parameter values

required for that purpose in respect of the camera position for the left eye and for the right eye are computed by the graphics client unit on the basis of the object and event parameter values communicated by the graphics master unit, by means of simple algorithms. The graphics master unit can
5 basically send an update message for each partial image, but it preferably does this only every two partial images after a partial image of the current scene has been computed and outputted for each eye by the respective graphics client in question. In active and in passive stereo projection, the partial image data can be outputted simultaneously by the various
10 graphics clients. Alternate projection of the partial images for the left eye and the right eye, as is required in active stereo projection, is controlled by downstream-connected units. That will be discussed in greater detail hereinafter.

The arrangement according to the invention can also be operated
15 for active stereo projection onto a projection surface with only one graphics master and one graphics client. Both units can then be integrated in one computer, as an alternative however for better load distribution this can also be implemented on two computers.

Use of the apparatus according to the invention is not limited to
20 stereo projection arrangements for the reproduction of images with a three-dimensional effect. It can be used for any form of synchronous projection by means of a plurality of projectors. For example, two-dimensional image simulations can also be synchronously reproduced on a plurality of projection surfaces in one room or in different rooms. The
25 graphics master and the graphics clients communicate by way of a network.

In an embodiment of the apparatus according to the invention the graphics master unit is additionally adapted to produce a third message or communication and to send the third message to each graphics client unit
30 after reception of the second message by each graphics client unit. Each graphics client unit connected to the graphics master is additionally adapted to output the image data at the image data output after reception

of the third message. In this embodiment, the graphics clients wait with output of the image data until the third message is received, which is therefore also referred to as the "image change" message. This embodiment ensures synchronous image data output, with transmission of
5 the additional third message.

In a preferred embodiment there is a third random access memory to which the graphics master unit has writing and reading access. The third random access memory is preferably a mass store in the form of a magnetic hard disk which can accommodate many different scene
10 graphics data files. If the graphics master unit is implemented on a conventionally equipped PC, regions of the hard disk thereof can be used for receiving scene graphics data files. The third random access memory is connected to the second random access memory so that a scene graphics which is to be currently represented can be loaded before the
15 beginning of the first parameter computation procedure from the third into the second random access memory. Storage of a version of the scene graphics stored on the third random access memory, which version has been altered by up-to-date parameter values, is also possible. Finally the scene graphics data file on the third random access memory can also be
20 modified from the exterior independently of the current image computation procedure.

Associated with each scene graphics data file contained in the third random access memory is a respective memory address (URL) and/or a scene graphics identification number or index. The scene graphics
25 identification number serves primarily to distinguish various versions of a scene graphics data file and is therefore preferably only added to the URL in cases in which the URL alone is not adequate for clear identification of a scene graphics data file to be loaded.

Preferably, the graphics master unit and the graphics client unit are
30 adapted to implement real-time image computation. In that way, when representing images which have a three-dimensional effect, user interaction is converted into a change in the scene being represented, by

way of an input device connected to the graphics master, without perceptible delay. In actual fact, there is a delay of one frame in accordance with an image computation cycle as the graphics master is always ahead of the graphics clients by a cycle. This however involves a
5 delay period in the region of a maximum of 20 ms with an image refresh rate of 50Hz which can be further shortened by setting a higher image refresh rate. It is not perceptible to a person viewing the scene.

The graphics client unit and the graphics master unit preferably have the functional features of a browser for the data file format VRML,
10 Inventor, Performer and/or X3D. In an embodiment of the invention the graphics master unit and the graphics client unit are respectively based on an Open-Source VRML-browser (Blaxxun 2.0).

A preferred embodiment of the invention has a second message channel. As in the case of the first message channel, this may involve a
15 logical message channel which physically for example can be embodied by a conventional Ethernet network connection.

A synchronization master unit which is connected to the graphics master unit and synchronization client units communicate by way of the second message channel, wherein each graphics client unit is connected
20 to a synchronization client unit.

The synchronization master unit is adapted to produce a fourth message or communication which contains the memory address of a scene graphics data file and/or the scene identification number of the scene graphics data file, and to send the fourth message by way of the
25 second message channel. That is effected for example at the beginning of the image data computation.

The synchronization client units are adapted to receive the fourth message and then to cause loading of the scene graphics data file defined in the fourth message into the second random access memory and to
30 produce and send a fifth message or communication which signals the conclusion of loading of the scene graphics data file, to the synchronization master unit.

By virtue of the transmission of the fourth and fifth messages by way of the second message channel, the graphics master and graphics client are relieved of the load of communication processes which do not have anything to do directly with image computation. Such tasks are
5 taken over by the synchronization master and client unit.

In a further preferred embodiment of the invention the synchronization master unit and the synchronization client unit respectively are additionally adapted to produce a first test message and a second test message respectively. In this embodiment, the
10 synchronization master and client are further adapted to produce a first test response message after reception of the second test message by way of the second message channel and to produce a second test response message after reception of the first test message and to send the respective test and test response messages by way of the second
15 message channel.

The second message channel (see also reference numeral 80 in Figure 5) serves to make and maintain the communication between the synchronization and graphics master unit on the one hand and the synchronization and graphics client on the other hand, and to transmit
20 use-specific commands of the graphics master, for example browser commands. With the test message and the test response message, a check is made as to whether there is a communication connection between master and clients.

As the first and second message channels are admittedly logically
25 different but can basically be embodied by one and the same physical connection (network card, network cable), it is possible with that test message to check the existence of a communication both on the first and on the second message channel.

In a further preferred embodiment of the apparatus according to
30 the invention, which is particularly suitable for use in relation to passive stereo projection, for conversion of the image data computed by the graphics clients into control signals for an image reproduction device,

associated with each graphics client unit is a respective graphics computing unit having a data input for image data, by way of which input it is connected to the associated graphics client unit. Each graphics client unit is adapted to convert image data received at the input into control signals and to output the control signals by way of a signal output. A light image projector can be connected to the signal output. By way of example, commercially available PC graphics cards can be used as the graphics computing unit.

In comparison, a further embodiment which is designed for image data computation and output in relation to active stereo projection involves only slight differences. The graphics clients, for active stereo projection, are adapted for alternately computing and outputting firstly a (partial) image for the left eye and then a (partial) image for the right eye, which are outputted to a graphics computing unit. This controls the projector in accordance with the flow of the incoming image data in regard to the alternate projection of a respective partial image for the left and right eyes. The graphics master unit can basically send a fresh update message for each partial image, but it preferably does this only every two partial images as, for each eye, a partial image of the current scene was computed and outputted by the graphics client in question.

The required parameter values of a "camera position" for the left and right eyes are computed by the graphics client unit in active and in passive stereo projection on the basis of the object and event parameter values communicated by the graphics master unit, by means of simple algorithms.

An embodiment as an alternative thereto of the invention for active stereo projection also involves distribution in active stereo projection of the load of the image data computation of the partial images for the left and right eyes to two graphics client units per projection surface. This embodiment is the same in terms of the structure of the graphics master and clients as the embodiment for passive stereo projection. However, two graphics clients share a graphics computing unit and a light image

projector. Instead this embodiment additionally has a partial image switching unit for each two graphics client units. The partial image switching unit has a signal input, by way of which it can be connected to a switching control unit, at least one first and at least one second image data input which are associated with a respective graphics client unit, a first and a second image data intermediate memory connected to the first and second image data input respectively, and an image data output for each pair of first and second image data inputs. The partial image switching unit is adapted to connect either of the first or the second image data intermediate memories to the image data output in dependence on the state of the signal input.

A switching control unit which is connected on the output side to the signal input of the partial image switching unit is adapted to produce and deliver at least one control signal at a predeterminable signal delivery rate.

The partial image switching unit can be adapted in dependence on the respective number of projection surfaces to be illuminated for connection to two graphics clients (one projection surface), four graphics clients (two projection surfaces), six graphics clients (three projection surfaces) and so forth. Provided for each pair of graphics clients is a respective pair of image data intermediate memories. This may also involve two, four, six, ... memory regions of one and the same memory. A respective image data output is associated with each pair of image data intermediate memories.

The partial image switching unit receives the image data simultaneously outputted by the graphics clients, into the respective image data intermediate memory. An intermediate memory of a memory pair therefore contains a partial image for the left eye, while the other contains a partial image for the right eye. Those partial images are outputted in succession by the partial image switching unit.

For that purpose, the partial image switching unit, by way of its signal input, receives control signals from the switching control unit. A

first control signal causes the partial image switching unit to output all partial images for the left eye by way of the associated image data outputs. A second control signal causes the partial image switching unit to output all partial images for the right eye by way of the same image data outputs.

The switching control unit sends its control signals at a predetermined frequency which corresponds to the image refresh rate of the projector. If for example the partial images for the left eye and the right eye are to be refreshed at a rate of 50 Hz, the first and second signals are produced alternately at a frequency of 50 Hz respectively. The signal delivery rate at the signal output of the switching control unit is then 100 Hz.

A development of this embodiment of the invention which is suitable for use in an active stereo projection arrangement has a graphics computing unit connected to the image data output of the partial image switching unit. If there are a plurality of image data outputs on the partial image switching unit, a respective graphics computing unit is associated with each image data output. The graphics computing unit is otherwise identical to that in the apparatus for passive stereo projection, and therefore has a signal output for control signals for controlling a display unit of a image reproduction device, and is adapted to convert image data received at the input into control signals and to output the control signals by way of the signal output.

In a development of the concept of the invention, the functional features of the graphics master are embodied in a graphics master module and the functional features of the graphics client are embodied in a graphics client module, which for example can each be in the form of a PC plug-in card. The structural and functional features of the graphics master module and the graphics client module can be substantially seen from the above-described features of the graphics master unit.

The graphics master module has at least one signal input adapted to receive signals of an external input device. There is also a first

message interface adapted to send and receive digitally encoded messages, and a first random access memory for receiving at least one first scene graphics data file. The graphics master module also has image parameter computation means which are connected to the first random
5 access memory and the signal input and to the message interface and which are adapted to compute object and/or event parameter values of the first scene graphics data file in dependence on the current object and event parameter values thereof and the current state of the signal input. There are also provided master control means which are connected to the
10 image parameter computation means and the message interface and which are adapted to produce and send a first message or communication by way of the first message interface, wherein the first message contains at least a part of the computed object and/or event parameter values.

In the graphics master module according to the invention, the
15 functional features of the above-described graphics master unit are divided to two units. The image parameter computation means perform the tasks of graphics computation while the master control means manage communication with the graphics client modules. This may involve a purely logical or an also hardware distinction. The functional features, as
20 in the case of the graphics master unit, can be embodied in the form of implemented software or in the form of specially adapted ASICs.

Various embodiments of the graphics master module according to the invention have the additional features of the above-described
25 embodiments of the apparatus according to the invention for image data computation and synchronous image data output. In a preferred embodiment there is provided a synchronization master unit having the above-described structural and functional features.

The graphics client module according to the invention has a second message interface adapted to send and receive digitally encoded data; a
30 second random access memory for receiving at least one second scene graphics data file which defines objects and/or events which can be represented in an image and which associates object and event parameter

values respectively with the objects and/or events, and an image data output. Also provided are image data computation means which are connected to the second message interface and the second data memory and which are adapted to store the object and/or event parameter values received at the second message interface in the second scene graphics data file and to produce image data of an image in dependence on current object and/or event parameter values of the second scene graphics data file, and to output the produced image data at the image data output. Communication with a graphics master module is afforded by client control means which are connected to the message interface and to the image data computation means and which are adapted to produce and send a second message to the graphics master unit by way of the second message interface, which signals conclusion of the image data computation for the image.

The graphics client module can also have the additional features of the graphics client unit in the above-described embodiments of the apparatus according to the invention for image data computation and synchronous image data output. In particular it can have a synchronization client unit having the above-described features.

An independently patentable concept of the invention concerns an image switching module comprising at least one first and at least one second image data input, associated with each pair of first and second data inputs an image data output, a first and a second image data intermediate memory which is associated with the first and the second image data input respectively and which at the input side is connected to the first and the second image data input respectively and which is adapted to store image data and to output stored image data by way of the associated image data output in response to a first and a second control signal respectively. In addition the image switching module has a switching control unit having a signal output by way of which it is connected to the first and second image data intermediate memories and

which is adapted to produce and deliver the first and second control signals in alternate succession at a predeterminable signal delivery rate.

The image switching module integrates the above-described partial image switching unit and switching control unit which is used in an apparatus in accordance with the invention and which is employed in relation to active stereo projection. The image switching module, like the graphics master and client module, can be embodied in the form of a plug-in card. It is also possible to envisage a structural design in the form of a separate device with its own power supply. The signal delivery rate can be set from the exterior and preferably corresponds to the image refresh rate which is predetermined by the graphics master and the graphics client.

In a preferred embodiment, for the connection of a pair of shutter spectacles for a viewer, the switching control unit is adapted to additionally deliver the first and second control signals in the form of electromagnetic radiation, in particular infra-red radiation. It will be appreciated that the delivery of radiation at a lower frequency for radio transmission is also possible and would afford the advantage that there does not have to be sight contact between the viewer and the switching control unit.

Arrangements for producing and reproducing two partial light images which together can be perceived as a light image having a three-dimensional effect, for active and for passive stereo projection, are to be viewed as further independent aspects of the concept of the invention.

Passive stereo projection is embodied in an arrangement for producing and simultaneously reproducing at least two partial light images which together can be perceived as a light image having a three-dimensional effect. That apparatus has at least one scattering surface which is adapted for polarization-maintaining scattering of light into a spatial region which in relation to light incident on the scattering surface extends either in front of or behind that surface.

The scattering surface for a back-scattering arrangement is preferably metallic. It can be vapor deposited on a support surface or can be in the form of a self-supporting layer, in the form of a plate or panel. In contrast to back-scattering, forward scattering is not necessarily limited
5 to a surface, that is to say a region of small extent in the direction of light incidence.

The arrangement has two light image projectors associated with a respective scattering surface, as image reproduction devices, which each have a control input and which are adapted to convert a respective
10 number of control signals received at the control input into a respective raster light image which is composed in matrix form of light pixels and to project the respective raster light image, using polarized light, wherein the polarization of the light respectively used by the two projectors is oriented differently, and which are arranged to project the respective
15 raster light image onto the associated scattering surface.

In addition, the arrangement according to the invention has an apparatus for image data computation and for synchronous image data output in an embodiment which is designed for passive stereo projection. In this case, provided in association with each light image projector is a
20 respective graphics client unit, wherein the signal output of the respective graphics computing unit is connected to the control input of the respective light image projector. In addition each graphics client unit is adapted to compute raster image data of a partial image, which reproduces the field of view of the left or right eye of a viewer, of an image defined by the
25 current object and/or event parameter values of the second scene graphics data file.

The arrangement according to the invention has the advantage over known arrangements that it can be embodied with substantially simpler and substantially less expensive components. That can be seen on the
30 one hand from the foregoing description of the apparatus according to the invention for image data computation and synchronous image data output. On the other hand, the arrangement according to the invention

can use comparatively favorable light image projectors, that is to say for example LCD (liquid crystal display) or DLP (digital light projection) projectors. In this connection, the term light image is used to mean a projected image. The use of CRT-projectors is also possible, but suffers from the disadvantage that this type of projector is substantially more
5 expensive and is suitable solely for active stereo projection.

In two alternative embodiments of the apparatus according to the invention the light image projectors can be so arranged that they form the partial images on the scattering surface either from the front or from the
10 rear, from the point of view of the viewer. Specially designed scattering walls can be obtained for illumination from the rear, that is to say in relation to forward scattering by the scattering surface. The arrangement of the light image projectors behind the scattering surface, from the point of view of a viewer, in this embodiment, admittedly suffers from the
15 disadvantage that overall more space is required for the arrangement. Scattering walls for forward scattering are also more complicated and expensive to produce. Instead however, it is also possible for the floor and the ceiling also to be in the form of a scattering surface. That is not possible when the projectors are arranged on the side of the viewer, as it
20 is not possible to prevent the viewer from throwing a shadow onto the floor or the ceiling and thus interfering with image projection.

For the sake of simplicity, in an embodiment of the invention, the projectors each have a respective polarizer. The polarizers of the projectors for the left and the right eyes of the viewer are transmissive for
25 linearly polarized light with preferably mutually perpendicular vibration directions. In that way it is possible to achieve optimum contrast between the partial images for the left eye and the right eye. Alternatively, it is also possible to use filter arrangements for the projection of right-elliptical or left-elliptical or right-circularly or left-circularly polarized light
30 respectively.

Provided for the viewer is a suitably designed pair of analyzer spectacles whose lenses are transmissive in respect of light each with a

respective form of polarization predetermined by the light image projectors. In this respect, the association of the projected partial image with the eye is taken in account when arranging the filters in the spectacles.

5 A further aspect of the concept of the invention involving independent patentability concerns an arrangement for active stereo projection which is adapted to produce and reproduce in succession in respect of time at least two partial light images which together can be perceived as a light image having a three-dimensional effect. That
10 arrangement according to the invention has at least one scattering surface adapted to scatter light into a spatial region which in relation to light incident on the scattering surface extends either in front of or behind the scattering surface.

 The demands in relation to the scattering surface are lower in
15 regard to active stereo projection as polarization of the scattered light does not have to be maintained. It is thus possible to use conventional projection screens or glass-based or plastic-based scattering walls.

 In contrast to the arrangement for passive stereo projection, it is sufficient in the case of the present arrangement to have a light image
20 projector associated with a respective scattering surface, as the image reproduction device which in other respects can be designed precisely as described above. It is however also possible to use a plurality of projectors, for example if images are to be projected for different viewer positions.

25 As a further difference in relation to the arrangement for passive stereo projection, provided here is an apparatus for image data computation and for synchronous image data output, which is designed in accordance with the requirements of active stereo projection, as described above. In this respect, associated with each light image projector it has a
30 first and a second graphics client unit (98), with the image data output of the respective graphics client unit being connected to the first and second image data input of the partial image switching unit. The first and second

graphics client units are respectively adapted to compute raster image data of a partial image, which reproduces the field of view of the left and the right eye respectively of a viewer, of an image which is defined by the current object and/or event parameter values of the second scene
5 graphics data file.

In accordance with a further concept of the invention involving independent patentability, used for image reproduction is an apparatus for image reproduction by back-scattering of light, comprising a first and a second flat scattering surface, wherein the planes defined by the
10 scattering surfaces include an angle, characterized in that the first and second scattering surfaces adjoin with mutually facing edges a third flat scattering surface in such a way that the third scattering surface adjoins the first and second scattering surfaces respectively at obtuse angles and that the straight intersection lines of the planes defined by the three
15 scattering surfaces extend in mutually parallel relationship.

The inclusion of a third scattering surface which at both ends of its widthwise extent adjoins the respectively adjacent scattering surfaces at an obtuse angle has the advantage that unwanted light scatter which is visible to the viewer from the first scattering surface onto the second
20 scattering surface in the corner region is avoided. That effect appears in particular in arrangements in which the first and second planes include an obtuse or a right angle.

Preferably the third scattering surface has a widthwise extent of at least 60 cm. With a smaller widthwise extent, the spacing between the
25 first and second scattering surfaces in the corner region is not sufficient to make the troublesome scattering effect completely invisible. In an embodiment of such a design configuration, the scattering surface involves a widthwise extent of 80 cm and adjoins each of the first and second scattering surfaces at a respective angle of 130 degrees.

30 In this arrangement the graphics client unit is adapted to compute and output two respective partial image portions in such a way that a partial image portion appears free from distortion on the first or second

projection surface and that a second partial image portion appears free from distortion on the third projection surface ("remapping"). To compensate for image projection with an inclined direction of light incidence on the third scattering surface, this embodiment provides that
5 the structures illustrated in the second partial image portion are turned by computation, having regard to the angle of the scattering surfaces. In addition the position of the projector relative to the third scattering wall is incorporated into the remapping procedure. When the partial image portions are projected onto the respective scattering surface, the angle
10 between the scattering walls is not perceptible.

Another embodiment involves implementing expansion of the last-described graphics client functionality to the computation of more than two partial image portions. In that way for example in constricted conditions in regard to space, a plurality of scattering walls which are
15 disposed at an obtuse angle relative to each other, involving a small widthwise extent, can be illuminated by a pair of projectors.

Further embodiments by way of example of the invention are described hereinafter with reference to the drawing in which:

Figure 1 shows a simplified sketch of a first embodiment of an
20 arrangement for producing and reproducing two partial light images which together are perceptible as a light image having a three-dimensional effect,

Figure 2 is a diagrammatic view showing the principle to illustrate light scattering between screens in adjoining relationship at a right angle,

25 Figure 3 shows a simplified sketch of a second embodiment of an arrangement for producing and reproducing two partial light images which together are perceptible as a light image having a three-dimensional effect,

Figure 4 shows an example of representation of an image by means
30 of the second embodiment,

Figure 5 shows a simplified block circuit diagram of a first embodiment of an apparatus for image data computation and for

synchronous image data output, as can be used in the arrangement of Figure 1,

Figure 6 shows a simplified block circuit diagram of a second embodiment of an apparatus for image data computation and for
5 synchronous image data output which is intended in particular for use in relation to active stereo projection,

Figure 7 shows a flow chart representing the method steps when loading a scene graphics data file,

Figure 8 shows a flow chart of a method of synchronizing the image
10 representation, and

Figure 9 shows a flow chart of an alternative method of synchronizing the image representation.

Figure 1 shows a simplified plan view of a first embodiment of an arrangement for spatial visualization. The arrangement is designed for
15 stereo projection from the direction of the viewer (front projection). The stereo effect is produced passively and can be perceived by a pair of polarization filter spectacles.

This arrangement has two screens 10 and 12 which are set up at a right angle, four projectors 14 through 20 and a graphics computer
20 system of 5 networked computers 22 through 30. The network connection between the computers 22 through 30 is indicated by the double-headed arrows 32.

The screens 10 and 12 (hereinafter also referred to as scattering walls) are set up at a right angle β and are in immediately adjoining
25 relationship without gap. They can be fixedly or releasably connected together in the region of the angle β . Releasable erection of the screens has the advantage that the walls can be freshly positioned relative to each other as desired for experimentation purposes. Thus it is possible for example to alter the angle β between the screens. However, using
30 suitable connecting elements such as hinges means that it is also possible to provide that the screens are pivotable relative to each other in order to set any desired angle β between them. In the case of installations which

are subjected to a high level of public involvement however a fixed connection between the screens without the possibility of pivotal movement is advantageous in order to ensure that the screens are not disarranged relative to each other if touched.

5 The scattering walls are preferably set up at an angle β of between 90 and 180 degrees because in that way the viewer is outside the light cones 34 and 36 produced by the projectors 14 through 20 and does not throw any shadow. In principle however an arrangement with an acute angle is also possible.

10 In the present example the screens 10 and 12, on their sides towards the projectors 14 through 20, have polarization-maintaining scattering surfaces 38 and 40 as are usual for 3D-representation. For that purpose the scattering surfaces 38 and 40 are made from metal. The light projected onto the scattering surfaces is reflected thereby into the
15 entire half-space which is towards them, without changing the direction of polarization of the incident light. In that way, light which is scattered with a polarization-maintaining effect reaches a viewer at various positions in front of the scattering walls, from all portions of the scattering surfaces 38 and 40 which are illuminated by the projectors 14 through 20.

20 The scattering surfaces 38 and 40 can be in the form of a one-part or multi-part metal layer applied to a support. The support for example can be made from plastic material. Alternatively the entire scattering wall 10 or 12 can be made from metal.

 The scattering surfaces 38 and 40 are flat. If the scattering
25 surfaces used are curved throughout or in a portion-wise manner, the impression caused thereby involving image distortion can be corrected by computer adaptation of the projected scene.

 The dimensions of the scattering walls 10 and 12 in the present embodiment are (width x height) 3.30m x 2.50m. Scattering walls of the
30 "Miracle 3D silverscreen" type are used. In the present arrangement the amount of space required is limited to (width x depth x height) 5 x 5 x 2.5m³.

Associated with each screen 10 and 12 are two projectors 14 and 16, 18 and 20 respectively. The description hereinafter is limited to the arrangement of the projectors 14 and 16 relative to the screen 10. The arrangement of the projectors 18 and 20 relative to the screen 12 is similar. The projectors 14 and 16 are so arranged and oriented that they project light images of dimensions which are identical on the scattering surface 38. The light images cover the scattering surface 38 to precisely the right edge thereof where the scattering surface 38 adjoins the scattering surface 40 of the screen 12. Both projectors are arranged at the same spacing relative to the scattering surface and approximately centrally with respect to the widthwise extent thereof.

The representation of the projectors in Figure 1 with different contours does not correspond to their respective actual dimensions, but serves solely to make the two projectors clearly apparent in the selected plan view.

The projectors can be arranged on a support tripod or arranged hanging from the ceiling of the room on a support fixed to the ceiling. In the preferred embodiment both projectors 14 and 16 are arranged hanging down from the ceiling.

For the purposes of precise orientation of the projectors they are fixed displaceably independently of each other parallel to the widthwise extent of the screen 10 and in the direction of their spacing relative to the screen. In addition the projectors are each pivotable about the respective vertical axis and about a respective horizontal axis which is perpendicular to the line normal to the scattering surfaces 38 and 40.

The two projectors are commercially available LCD, DMD or DLP projectors. It is possible for example to use type MP8750 from ... The light output is 1300 ANSI lumen and the resolution is 1024 x 768 pixels. The projectors used have an image correction unit which compensates for trapezoidal aberrations on the scattering surface as a result of the inclined incidence of light.

Polarization filters (not shown here) are disposed upstream or downstream of the projection lenses of the projectors 14 and 16 (and likewise in relation to 18 and 20). The polarization filters of the projectors 14 and 16 allow light to pass therethrough in different polarization
5 directions. For example the polarization filter of the projector 14 allows linearly polarized light to pass, the electrical field vector of which vibrates on the scattering surface in a horizontal direction, that is to say parallel to the plane of the drawing in Figure 1. In this case the polarization filter of the projector 16 passes linearly polarized light whose electrical field vector
10 vibrates on the scattering surface in a vertical direction, that is to say perpendicularly to the plane of the drawing.

The light of the projectors which respectively project the light for the left eye onto the screens 10 and 12, in the present case for example the light of the projectors 14 and 18, involves the same polarization
15 direction (horizontally). The same applies for the light of the projectors 16 and 20 which is polarized vertically. Accordingly the viewer wears a pair of spectacles which at the left only allows horizontally polarized light to pass therethrough and at the right only vertically polarized light.

Alternatively the polarization filters of the projectors 14 and 16 can
20 also transmit left or right circularly polarized light. In that case the pair of spectacles of the viewer would also have to be provided with suitable polarization filters for left and right circularly polarized light for the left eye and the right eye respectively.

Associated with each projector is one of the graphics computers
25 (client) 22 through 28. The graphics computers are conventionally equipped Personal Computers (PC). A typical setup has inter alia for example the following components:

- 1 processor of type AMD Athlon, running at a clock rate of 900 MHz,
512 MBytes of working memory (RAM),
- 30 1 graphics card GeForce2 GTS with 64 MBytes of DDR RAM, and
100 Mbits/s Ethernet network card.

A hard disk can be provided for local booting of the clients 22 through 28, but in principle is not required as the clients can also be booted by way of the network by means of a master computer 30 which is described hereinafter.

5 Each projector 14 through 20 is connected to the output of the graphics card of the associated graphics computer 22 through 28.

 In addition to the graphics computers 22 through 28, there is also a master computer (master) 30. The master computer is also a PC whose hardware equipment is the same as that of the graphics computers 22 through 28, as regards the above-mentioned components. In addition the master computer 30 has a hard drive. Furthermore, it is designed for the connection and operation of a monitor 42, a mouse 44 and a keyboard 46. Further input devices can be connected to the master 30 – also in a cordless manner, for example by way of an infra-red or radio interface – and are symbolically indicated in Figure 1 by a block 48. This involves for example a cord-less gyroscope mouse. An alternative input device 48 is a data glove whose output signals supply the master 30 with items of information regarding movements and position of the fingers of a hand. As the input device 48, it is also possible to provide a tracking device which, by means of electro-optical sensors, generates signals which are dependent on the position and direction of view of the eyes of a viewer, and outputs those signals to the master 30. A walking device can also be used. Finally, a microphone is also provided as an input device. By means of a speech recognition system which is integrated into the master, commands from the viewer can be interpreted and form the basis for re-computation of the fields of the currently loaded scene graphics data file. Depending on the respective use involved the above-indicated input devices can be provided alternatively or in combination.

 The graphics computers 22 through 28 and the master 30 are connected together by way of standard 100Mbits/s Ethernet network cards and network cables. They operate with a Windows 95/98/NT or Windows 2000 operating system (Networking, Threads), an OpenGL client (GLUT

windows handling, Portable C++) and a UDP-network layer which permits a short latency time of less than 1 ms.

Figure 1 does not show the Surround Sound System used, which has an amplifier (Yamaha DSP-A595 with four channels), 4 loudspeakers and 2 subwoofers in a conventional arrangement.

In the arrangement illustrated in Figure 1 the projectors 14 and 18 project horizontally polarized light images of a scene onto the scattering surfaces 38 and 40, as the left eye of a viewer at a defined position relative to the scene would perceive them. In the arrangement shown in Figure 1 that position corresponds to the position identified by "P". The two images of the projectors 14 and 18 for the left eye are different. They represent the left and right halves of the field of vision of the left eye and therefore supplement each other to form the total field of vision of the left eye at the defined position of the viewer. A similar consideration applies in regard to the projectors 16 and 20. The projectors 16 and 20 project vertically polarized light images of the same scene onto the scattering surfaces 38 and 40, as the right eye of a viewer at the defined position would perceive them. The projector 16 projects the left half of the field of vision of the right eye onto the screen 10 and the projector 20 projects the right half of the field of vision of the right eye onto the screen 12. The two images supplement each other to form the total of vision of the right eye at the defined position of the viewer.

From the point of view of a viewer who is at the position P in the arrangement shown in Figure 1 and who is wearing a pair of spectacles whose left lens transmits only horizontally polarized light and whose right lens transmits only vertically polarized light the respectively projected light images correspond to the perception conditions in relation to spatial sight in reality. Therefore, that viewer has a spatial impression of the scene represented. That spatial impression is particularly strongly pronounced by virtue of a large field of vision being covered on the screens which are at a right angle to each other and which are 2.50m in height and 3.30m in width.

The illustrated scene is updated at a refresh rate of about 50 Hz. In that respect for example the viewer can have the impression that individual parts of the scene would be moving in space or the viewer would be moving relative to the scene. By means of the input device 48, the viewer is even in a position to himself influence the development of the scene being illustrated. With a gyroscope mouse for example he can change the apparent viewer position relative to the scene and thus gains the impression of himself moving through the scene with a floating movement or also with a walking movement when using a walking device.

Higher image refresh rates than 50 Hz do not change the image computation and projection control processes which take place and which are described hereinafter, but only the repetition rate at which they take place. The highest possible refresh rate is solely a question of the hardware equipment of the PCs 22 through 30 and the projectors. Hardware development is making great strides towards more powerful and faster processors. A refresh rate of 100 Hz which is particularly advantageous from the point of view of perception physiology can also be implemented with hardware which is available at the present time, at comparatively low cost.

What is important for producing the spatial impression of the scene is the synchronous projection of all four respective current partial images of the scene. The image computation, control and signaling processes which are being executed on the PCs 22 through 30 are synchronized in the present embodiment by means of a master/client system which is described in detail hereinafter with reference to Figure 5.

Figure 2 shows a portion of the arrangement illustrated in Figure 1. It includes the screens 10 and 12, the projectors 14 through 20 and the light cones 34 and 36 produced thereby. The problem of double scattering of light beams at the scattering surfaces 10 and 12 will be discussed hereinafter, with reference to the light cone 36.

Besides edge beams 36a and 36b, shown in broken lines, of the light cone 36, the drawing also shows a further light beam 36c which,

issuing from the projector 18 or 20, meets the scattering surface 40 of the screen 12 at a location S1 in the proximity of its left-hand edge, where the scattering surface 38 adjoins it at a right angle. Back-scattering of the light following the beam 36b, at the scattering surface 40, takes place
5 in a large angular region and has an intensity maximum at an angle which, in accordance with the reflection law, is equal to the angle of incidence of the beam 36c on the scattering surface 38. Therefore, a large part of the light which is incident through the beam 36c, after scattering at the scattering surface 40, follows a beam 36c' and thus
10 impinges on the scattering surface 38 at a location S2. From there, obeying the same laws, a part of the light again passes following the beam 36c'' to the viewer at the position P. As a nuisance to the viewer, that scatter light of the beam 36c'' is superimposed on the light, which is scattered in the direction thereof from the location S2, of the image which
15 the projector 14 or 16 projects onto the screen 10. That interference effect is noticeable in the corner region of the two scattering surfaces and it adversely affects the desired three-dimensional image impression.

As a way of resolving that problem, Figure 3 shows a second embodiment of an arrangement for spatial visualization, in the form of a
20 simplified plan view. In many features, the structure of this arrangement is the same as that of the embodiment of Figure 1. Therefore, the same references are used for components of the present arrangement, which are the same as the first embodiment. The description hereinafter is concentrated on the differences in relation to the first embodiment.

25 To avoid troublesome double scattering in the corner region, the present arrangement has, between two screens 50 and 52, a third screen 54 which adjoins the screens 50 and 52 at obtuse angles γ_1 (Gamma 1) and γ_2 (Gamma 2). Connecting the screens together at an obtuse angle ensures that large parts of the light which is scattered in the corner
30 regions of the screens are not scattered onto the respectively adjoining screen and pass from there to the viewer. To avoid multiple scattering the angles Gamma 1 and Gamma 2 should be more than 110 degrees.

Viewed as an optimum arrangement is one in which both angles are 135 degrees. The screen 54 should be of a widthwise extent of at least 60 cm in order also to effectively suppress troublesome double scattering between the screens 50 and 52.

5 In the present embodiment the screen 54 is of a smaller widthwise extent than the screens 50 and 52, but is of the same height. A larger widthwise extent for the screens 50 and 52 is basically not necessary in order to avoid double scattering. It does however permit a larger field of vision of a viewer at the position P to be covered. The screens 50 and 52
10 are here about 3.3m wide and 2.50m high. The screen 54 is about 0.80m wide and 2.50m high. Otherwise, it is basically of the same structure as the screens 10 and 12 of Figure 1. The foregoing description relating to the arrangement of Figure 1 also similarly applies in regard to the connection of the walls 50, 52 and 54.

15 In the case of the arrangement shown in Figure 3, two partial images are respectively projected by the projectors 14 and 16. A first partial image with edge beams 58 and 60 covers the screen 50, a second partial image with edge beams 60 and 62 covers the screen 54 from its left-hand edge at which it adjoins the screen 50 to a position M on the
20 screen 54. Likewise, two partial images are respectively projected by the projectors 18 and 20. A first partial image with edge beams 66 and 68 covers the screen 52 and a second partial image with edge beams 68 and 70 covers the screen 54 from its right-hand edge where it adjoins the screen 52 as far as the position M. At the position M therefore the
25 respective second partial images from the projectors 14 through 20 are mutually adjoining. Suitable adjustment of the projectors ensures that the images are joined seamlessly.

 In the present example the position M is at the center of the widthwise extent of the screen 54. Basically it can be at any position with
30 respect to the widthwise extent. An asymmetrical arrangement however has inter alia the disadvantage that the graphics computers associated with the projectors 14 through 20 have to compute image fields of

different sizes. The time required for the image computation procedure also increases with the size of the image fields to be computed. Therefore, asymmetrical image field distribution would mean that two graphics computers are relieved of load but two others would be additionally loaded. As the image computation process which takes the longest time determines the maximum image refresh rate, as will be described in greater detail hereinafter, the symmetrical distribution of the two partial images on the screen 54 is favorable in terms of a high image refresh rate.

The angles γ_1 and γ_2 can be different. In the present case however they are the same and are 135 degrees. A viewer at the position P is looking in frontal relationship onto the scattering wall 54. The angles γ_1 and γ_2 are to be taken into consideration in computation of the light images to be projected onto the screens 50, 52 and 54, as will be described in greater detail hereinafter with reference to Figure 4. If the angles γ_1 and γ_2 were different, then the graphics computers 26 and 28 would in turn have to execute different image computation processes for computation of the first and second partial images on the screens 52 and 54, from the graphics computers 22 and 24 for the partial images on the screens 50 and 54. The asymmetrical loading on the graphics computers, which is possible as a result, could adversely affect the speed of the system, as also described in the last paragraph. Therefore, an arrangement of the screens 50 through 54 involving identical angles γ_1 and γ_2 is preferred.

Figure 4 shows a diagrammatic view of a light image 72 which is projected by the projector 18 onto the screen 52 as well as the right-hand half of the screen 54 between the position M and its right-hand edge. The light image 72 is subdivided into two partial images (viewports), a main image 74 and an edge image 76. The main image 74 is of such a size that it illuminates the scattering surface of the screen 52 as far as the left-hand edge thereof, at which it adjoins the screen 54. The edge image 76 is of such a size that it illuminates the right-hand half of the scattering

surface of the screen 54 between the position M and the right-hand edge thereof, at which it adjoins the screen 52.

The two partial images represent different portions of a scene. The scene includes a floor 78 provided with a line grid. In the main image, a part of the lines, for example a line L1 of the line grid, extends parallel to the lower edge of the light image 32. A second part of the lines, for example the lines L2 and L3, converges towards a common vanishing point F, as is usual in the two-dimensional representation of spatial scenes in order to arouse the impression of depth. The floor 78 is also shown in the secondary image 76. Lines L4 and L5 of the line grid however extend in the secondary image 76 at an angle to the corresponding lines L1 and L2. In particular the line L4 does not extend parallel to the lower edge of the image. The angle δ (delta) is so selected that a viewer of the overall light image 72 on the screens 52 and 54 (Figure 3) has the impression that the lines L1 and L4 form a continuous straight line extending parallel to the lower edge of the image. Lines L5 and L6 in the second image 76, which also apparently go into the depths in the scene converge towards another vanishing point F' in the plane of the drawing in Figure 4. The viewer of the image projected onto the screens 52 and 54 however has the impression that the lines would also converge towards the vanishing point F.

The angle δ (delta) and the position of the vanishing point F' which are involved in computation of the edge image 76 are dependent on the angle γ_2 (Gamma 2) at which the screens 52 and 54 adjoin. They also depend on the orientation of the projector 18 or 20 respectively relative to the scattering surface 52 (or 54). In the embodiment of Figure 3 the projectors 18 and 20 are so oriented that the optical axis of the projector objective and the normal to the surface of the (flat) scattering surface 52, in projection onto the plane of the drawing, extend parallel.

Before setting out the structure of the graphics computer system which is implemented in the embodiments of Figures 1 and 3 with the

networked PCs 22 through 30, the notion of the scene graphics data file, which is central in this context, will firstly be discussed hereinafter.

The term scene graphics data file refers to the concept of scene graphics which is known inter alia from the file format VRML (Virtual
5 Reality Modeling Language).

A scene graphics serves to describe a three-dimensional (3D) scene. The logical structure of a scene graphics is a tree structure. Branching points of that tree structure are referred to as "nodes". The origin of the tree structure is "the world". This is divided for example into
10 nodes bearing the names "house", "tree" or "street". Each of those nodes can have a number of sub-nodes. Thus the node "house" for example can have the sub-nodes "room1", "room2" and so forth. A node comprises one or more fields which contain a given value and thus describe the state of the node. The field contained in the nodes are always provided with
15 standard values so that the field value has to be freshly designated only in the event of deviations.

Interaction and animation are described in the VRML-world by "events" which act on nodes and correspondingly alter field contents and thus also the node state.

20 Different kinds of nodes are known. These include:

a) Graphic primitives

These include for example triangles, cones, light sources, materials and textures.

b) Control nodes

25 These include for example transform nodes, switch nodes or interpolation nodes. With transform nodes, all subordinate nodes are displaced in space, scaled and rotated. The display can be limited to a sub-tree of a scene graphics by means of switch nodes. Interpolation nodes predetermine paths of movement.

30 c) Route nodes

Route nodes make connections between the fields of nodes. They provide so-to-speak a kind of message channel between those fields.

d) Sensor nodes

Sensor nodes (also referred to as sensors for simplicity) react to user inputs. The sensor nodes include for example proximity, time, touch, plane, sphere and cylinder nodes. Touch sensors react to mouse clicks, while plane, sphere and cylinder nodes permit the interactive displacement of objects.

Sensors are sources for events. For example, by clicking on an object embedded in a touch sensor, with the mouse, it is possible to alter another (target) object. The mouse click is the event which is registered by the object. That sends a message or communication to the target object which thereupon changes the content of a field and thus its state. The two objects have to be previously connected together by a route.

e) Proto-nodes

Proto-nodes are not nodes which are predetermined but which are self-defined, with also self-defined fields. Thus, it is possible to write a table proto which as field values contains the dimensions of a table and its color.

f) Script nodes

Scripts serve for the modeling of more complex modes of behavior. They can be produced in a script language supported by VRML, VRMLScript. Scripts are linked like other nodes into a scene graphics and can send and receive events by way of routes.

For each updating of a variable 3D scene, the tree structure of the scene graphics is traversed. Variations in the scene graphics can arise on the one hand out of that itself, for example on the basis of interpolation nodes. Such variations occur therefore without user interaction, but for example on the basis of an altered state of a time sensor. Variations in the scene graphics can be caused on the other hand by user inputs, for example by a mouse click.

Various browsers are known for computing and representing scene graphics, for example the VRML97-browser Blaxxun 4.2 which is available as an open source.

Figure 5 shows a simplified block circuit diagram of a graphics computing system, as is used in the embodiments of Figures 1 and 3. The drawing shows the logical structures which are implemented on the computers 22 through 30, not the implementation thereof in hardware
5 terms.

The block circuit diagram is limited to the master 30 and the graphics computers 22 and 24 and the associated light image projectors 14 and 16 respectively. Basically, the same structure is implemented on the graphics computers 26 and 28 in the embodiments of Figures 1 and 3,
10 as on the graphics computers 22 and 24. The slight differences existing will be self-evident from the description hereinafter.

The master 30 and the graphics computers 22 through 28 are connected together by way of two logical channels. On a first channel 82, the master 30 cyclically sends the clients 22 through 28 messages which
15 serve for synchronization of the parameters used by the master and the clients for image computation and synchronization of the output of the light images computed by the clients to the associated projectors. On a second channel 80, the master and the graphics computers exchange on the one hand messages which serve primarily for constructing and
20 maintaining the communication between the master and the graphics computers. Examples of the messages sent by way of the channels will be described in greater detail hereinafter following the description of the structure involved.

The master 30 has a scene graphics memory 84 in which one or
25 more scene graphics data files are contained. The scene graphics memory 84 is formed for example by a hard disk or a memory region of a hard disk which is also occupied in other ways. The master 30 also has a working memory 86 into which is loaded the appropriate scene graphics data file for representing scene graphics. The working memory 86 is
30 formed by one or more RAM units.

The master computer 30 also has a graphics master 88. The graphics master is connected on the input side to the mouse 44, the

keyboard 46 and one or more input units 48. Possible input units 48 have been described hereinbefore with reference to Figure 1. The graphics master has an input and output interface 89 which connects it to the first message channel 82.

5 In the present embodiment the graphics master additionally has the structural and functional features of a graphics client unit. The graphics master is therefore additionally connected by way of an image data output to a graphics computing unit 90 which in turn controls a monitor 42 by way of a signal output.

10 The master computer 30 further has a synchronization master 92 connected to the graphics master 88. The synchronization master has an input and output interface 93 which connects it to the second message channel 80. Figure 5 does not show the details of the master computer 30, which deal with sound control. For that purpose the master has a 3D
15 sound card to which an external amplifier is connected.

Substantially identical structures are embodied on the graphics computers 22 and 24. The description hereinafter is therefore limited to the graphics computer 22. In Figure 5 identical structures of the graphics computers 22 and 24 are denoted by the same references.

20 The graphics computer 22 has a graphics client 94 which accesses a working memory 96. The graphics client 94 has an input and output interface 95 which connects it to the graphics master 88 by way of the first channel 82. The graphics client further has an image data output, by way of which it is connected to a graphics client unit 98. The graphics
25 client unit in turn controls by way of its signal output operation of the projector 20.

 The graphics computer 22 finally has a synchronization client 100 connected to the graphics client 94. The synchronization client 100 has an input and output interface 101 which connects it to the synchronization
30 master 92 by way of the second channel 80.

The functional features of the graphics master 88, the graphics client 94 as well as the synchronization master 90 and the synchronization client 100 are described hereinafter.

5 The graphics master 88 can be implemented as a hardware component or in the form of an executable program in the master computer. The graphics master has the functional features of a VRML-browser. VRML-browsers are widely used for representing three-dimensional scenes which are written in VRML. The graphics master 88 is based on the VRML97-browser Blaxxun 4.2. The functional features of the
10 VRML-browser include a loading process which loads a scene graphics data file from the hard disk into the working memory. In addition an image computing routine which traverses a scene graphics data file present in the working memory in dependence on received input signals of the units 44 through 46 or a signal of an internal clock (not shown here),
15 that is to say freshly computes a part of or all scene graphics parameters contained in a scene graphics data file. The freshly computed scene graphics parameters replace or supplement the scene graphics parameters stored hitherto in the working memory. The concept of the scene graphics parameter is described in greater detail hereinafter with
20 reference to the description of state objects. Under certain conditions, overwriting of the scene graphics data file in question in the scene graphics memory 84 is also possible. The graphics master also has routines which in dependence on the current scene graphics parameters compute the image data of a current raster image of the scene described
25 in the scene graphics data file. In that respect, it is also possible for only a portion of the scene to be computed. The raster image comprises pixels arranged in matrix form. Each computed pixel can be described besides its matrix co-ordinates in known manner by 3 color values.

30 The graphics clients 94 basically involve the same functional features, but do not perform their computations like the graphics master 88 in dependence on current input unit signals. On the contrary, on the input side they are connected to the first channel 82 and receive the

parameters required for updating of the respective partial image from the graphics master. That is always one image ahead in regard to image updating. An identification is fixedly associated with each of the graphics clients 94 of the individual graphics computers 22 through 28. On the basis of that identification the graphics clients 94 are in a position to compute the respective image of the next scene for the respective eye, from the parameters obtained from the graphics master. The identification can be altered if a graphics computer is to compute a different partial image for another projector.

The graphics master 88 and the graphics clients 94 have additional functional features which permit a message exchange on the first channel 82. Described hereinafter are messages which the graphics master and graphics clients exchange on the first channel 82:

a) Update message

The graphics master 90 is always one image (frame) ahead of the graphics clients 94 in computation of the scene. After the graphics master has computed the image of the scene graphics, the scene graphics data file includes the current values thereof. With an update message, the graphics master notifies all graphics clients of the current values of the scene graphics data file for the frames previously computed thereby, which the graphics clients require in order to be able to compute their next respective partial image for the respective eye.

In order to adapt the scene graphics of the graphics clients to the current state of the scene graphics on the server, only the sensors are enclosed. All other changes in state are based on the values which the sensors supply.

An update message contains the current values of all state objects of the loaded scene graphics data file, which have changed in relation to the last-preceding image computation cycle. State objects are all objects of a scene graphics data file, whose parameter values must be identically present in respect of all graphics clients 94 in each image computation cycle in order with their respective partial images to be able to represent

overall one and the same scene and which therefore have to be synchronized cycle by cycle. For example fields of sensor nodes are state objects and are therefore contained in an update message or communication if they have changed in relation to the last cycle. The
5 state objects which are contained in the update message also include a camera position, with respect to which the scene is to be computed and the orientation of the camera.

The graphics master tests for the composition of an impending update message all state objects of the scene graphics data file, for
10 alteration in relation to the last image computation cycle. If a change is found in a state object, the update message is expanded by the values of that state object. The overall update message is sent in one piece from the graphics master 88 to the graphics clients 94.

So that the graphics clients can identify all values of the state
15 objects, updated by the graphics master, the graphics master 88 uses in the update message, for clear identification of state objects, an identification (ID) which is composed of:

- the file name of the scene graphics data file in question,
- the line number within the scene graphics data file, in which the
20 state object is defined,
- the column number (or serial number of the character) within that line, from which the state object is defined,
- the type of production of the state object (for example by a script or a proto-node) and, if this state object defined in that respect is multiply
25 activated,
- an index number for each of those active state objects.

State objects are respectively applied upon first use of their identification. A distinction is drawn between identification signals for static and dynamic state objects. Dynamic state objects are automatically
30 removed when re-loading a scene graphics data file. State objects are therefore both applied when loading a scene graphics data file and also upon receipt of update messages which contain state objects. As the

graphics master 88 and the graphics client 94 load the same scene, it is immaterial which of the two first applies a state object. The values are automatically adjusted upon computation of the first image of the scene.

5 The fact that the graphics master 90 has a one frame "lead" over the graphics clients, is of great advantage in terms of the synchronization of image computation by the graphics clients and projection of the partial images computed by same. All graphics clients receive the update message at the same moment in time and then begin with their individual image computation procedure.

10 Not all state objects have to be contained in an update message. Changes in the scene graphics which are caused by the input units 44 through 48 (but for example by the time sensor) do not have to be synchronized as the system time is synchronized and the changes are simultaneously effected deterministically by all graphics clients. It is
15 therefore sufficient if only the state objects which are directly changed by the input units 44 through 48 are contained therein. All other changes in the scene graphics are automatically synchronous (for example the positions of the viewer of the objects, the execution of scripts). An exception is formed by movie nodes which can be used as textures. They
20 are synchronized separately so that they run synchronously by all graphics clients.

b) Computation finished message

The computation finished message is sent by a graphics client to the master client when the graphics client in question has concluded the
25 image calculation of "its" partial image for the next scene to be displayed. Identification of the sending graphics client is also transmitted with the computation finished message. In that way the graphics master can always associate which graphics clients have already concluded the computation and which have not yet done so.

30 c) Image switching message

The image switching message is sent to all clients at the same time by the master. With it the master at the same time gives all clients the

command to output the images, the computation of which is finished, to the connected projector, by way of the respective graphics computing unit. The image switching message is only sent when the graphics master 88, after the last update message, has received a computation finished
5 message from all active graphics clients 94.

The image switching message is a further essential element for synchronization of image projection in the arrangements of Figures 1 and 3. As the graphics master waits until all graphics clients are ready to output the computed partial image data to the respective graphics
10 computing unit 98 and then all graphics clients output their respective partial image data in response to the image switching message at the same time, that ensures synchronous projection of the current partial images of the scene.

The functional features of the synchronization master 92 and the
15 synchronization clients 100 serve primarily for initialization and control of the master/client network and for transmitting browser commands. The synchronization master 92 and the synchronization clients 100 for that purpose communicate by way of the second message channel 80. The second channel is operated on the master computer and on the graphics
20 computers by a parallel thread. Communication is preferably effected using a UDP (User Datagram Protocol). Message interchange by way of TCP/IP (Transfer Control Protocol/Internet Protocol) is alternatively also possible, but has proven to be slower. Both variants are supported by synchronization master and clients.

25 The messages exchanged on the second channel 80 include:

a) Ping message

This message corresponds to the ping message known from the TCP/IP. With the ping message, a specified addressee is requested to immediately return a ping reception message to the sender. In the
30 present case ping messages can be sent both by the master to each client and also by each client to the master. There is no provision for communication of the clients with each other. The ping messages are

used for testing timeouts of the network communication. The synchronization master 92 tests for the presence of the synchronization clients several times per second. In the case of timeouts the attempt is made to re-establish the master/client network.

5 b) Scene graphics loading message

This message is sent by the synchronization master to all clients. It includes an URL and a scene identification number. With this message, the clients are required to load the scene graphics data file stored at the specified URL. The scene identification number, for example a whole
10 number, is incremented with each computation and serves to identify the respectively current stage of the scene graphics.

 c) Loading complete message

This message is sent by each of the synchronization clients to the synchronization master when, after the receipt of a scene graphics loading
15 message from the master, loading of the scene graphics into the working memory of the graphics computer in question was concluded.

 d) Rendering mode

This message is sent by the master to all clients and as parameters includes information regarding the nature and manner of the image
20 computation to be executed by the clients. Information relating to the rendering mode which can be contained in the message are for example wireframe on/off, Gouraud on/off, computing textures on/off, or texture filtering on/off.

 e) Connection re-establishment messages

25 In the event of absence of an answer to a ping message within a given period of time, the sender of the ping message assumes that the network communication has broken down.

If the connection breaks down as if the synchronization master crashes and is re-started, the synchronization master receives from all
30 synchronization clients a connection re-establishment message which includes the URL and scene identification number currently loaded in the respective working memory. Not all graphics clients are always involved

in computation of one and the same scene. By way of example a graphics client can still be occupied with receiving the update message, in which respect the scene identification number of the last-computed scene is still contained in the working memory. Another graphics client can already
5 have begun on computation of the scene, in which case the scene identification number of the new scene is contained in the working memory. Therefore, the URL with the highest scene identification number is loaded into the working memory of the master computer. The synchronization master sends that URL and scene identification number to
10 all clients. In that way after re-establishment of the connection all graphics clients are again synchronous and compute the same scene.

If a graphics client or a synchronization client crashes and is re-started, the synchronization client 100 is connected to the synchronization master and sends a connection re-establishment message which as the
15 currently loaded URL specifies a blank character and a scene identification number 0. Thereupon with a scene graphics loading message the master sends the URL of the scene graphics to be loaded and the current scene identification number. Thereupon the client loads the scene represented by the master. The other synchronization clients ignore that message as
20 they have already loaded that scene. Even if no crash occurred, but only a network-conditioned timeout, all instances involved, on the basis of the transmitted messages, establish that they have loaded the same scene graphics data file with the same scene identification number. Image computation and projection can be continued without re-loading or a
25 pause. In that respect attention is directed to the description relating to Figure 7.

f) Conclusion message

This message is sent by the synchronization master to all synchronization clients and concludes image computation and the
30 communication between them.

The synchronization master also manages which of the clients are active. Messages are only exchanged with active clients. Likewise the clients continuously check whether the master is still operating.

In principle any messages between the synchronization master and the synchronization clients or the graphics master and the graphics clients can be transmitted on the first and second channels. The selected distribution affords the advantage that the communication between graphics master and clients is limited to exchange of the messages which are essential for image computation and synchronization of image data output, and the graphics master and clients are therefore not loaded with additional tasks. The functional features of the synchronization master and clients can be used by different graphics masters. Basically any kind of applications can use the services of the synchronization units. Applications which execute a cyclic routine in the manner of a runtime loop are easiest to adapt to the given synchronization options.

Figure 6 shows a simplified block circuit diagram of a second embodiment of an apparatus for image data computation and synchronous image data output. The present embodiment is the same in large parts as the embodiment described with reference to Figure 5. Therefore, in this case the same structural elements are denoted by the same references and hereinafter it is only the differences in relation to the apparatus of Figure 5, that will be described.

The graphics clients 94 of the graphics computers 22 and 24 are connected on the output side to a partial image switching unit 102. The partial image switching unit has two image data intermediate memories 104 and 106. The first image data intermediate memory 104 is connected to the graphics client unit 94 of the graphics computer 22 and the second image data intermediate memory 106 is connected to the graphics client unit 94 of the graphics computer 24. The image data intermediate memories 104 and 106 receive the image data outputted by the associated graphics clients 94.

The image data intermediate memories 104 and 106 are both connected to the image data output of the partial image switching unit 102. At one time, either the image data contained in the image data intermediate memory 104 or the image data contained in the image data intermediate memory 106 can be outputted by way of the image data output. That is indicated in Figure 6 by a change-over switch 108.

In addition the partial image switching unit 102 has a signal input by way of which it is connected to a switching control unit. In dependence on the state of a signal input the partial image switching unit outputs either the content of the first or the second content of the second image data intermediate memory, by way of the image data output. The image data output of the partial image switching unit 102 is connected to a graphics computing unit 98 to which once again a light image projector 20 is connected.

Control of image data output by the partial image switching unit 102 is effected by the switching control unit 110 which is connected to a signal input of the partial image switching unit 102 and in the present embodiment is integrated together with the graphics computing unit 98 into a synchronization module 111. It alternately produces a first and a second signal which is sent to the partial image switching unit. With the first signal, the partial image switching unit 102 is caused to output the content of the first image data intermediate memory 104 by way of the image data output. With the second signal, it is caused to output the content of the second image data intermediate memory 106 by way of the image data output.

The switching control unit 110 produces the first and second signals at a predeterminable signal delivery rate. A signal period includes the delivery of a first signal and a second signal. The period of time between the delivery of the first and second signals amounts to half the signal period duration. Various methods which are not shown in greater detail in Figure 6 are possible for setting the signal delivery rate. On the one hand, the switching control unit 110 can have a frequency control with a

control input for inputs from the exterior. The graphics master unit 88 for example can be connected to that input. Setting of the delivery rate by way of manual regulator can also be provided in addition or as an alternative.

5 The switching control unit 110 has a second signal output 110 which delivers the first and second signals in parallel with the first signal output. In the present case the signals are delivered in the form of infra-red light by way of the second signal output. They are detected by receivers 112 and 114 of a pair of shutter spectacles 116. The shutter
10 spectacles 116 have a left-hand lens 118 and a right-hand lens 120. The light transmission of the left-hand and right-hand lenses can be electrically switched from high to low and vice-versa at high frequency (around 100 Hz). Transmission of the two lenses is always opposite so that a person wearing the pair of shutter spectacles can always only see
15 through one lens. A change-over switching operation is caused in relation to both lenses, with the receipt of the first and second signals respectively from the switching control unit.

 The shutter spectacles are controlled by means of the first signal from the switching control unit in such a way that the left-hand lens 118 is
20 switched into a transmitting condition when the partial image for the left eye is outputted from the image data intermediate memory 104 provided for same to the graphics computing unit 98 and projected by the projector 20. At the same time the right-hand lens is switched into an opaque condition. As soon as the second signal is detected the transmission of
25 the two lens 118 and 120 is reversed.

 At the same time, by means of the second signal, the second image data intermediate memory 106 is caused to output the image data of the partial image for the right-hand eye which are converted by the graphics computing unit without perceptible delay into control signals for the
30 projector 20 and projected thereby.

 Figure 7 shows two parallel flow charts illustrating the sequence of the individual steps which are executed when loading a scene graphics

data file to be represented by the synchronization master (left) and the synchronization client (right). In general loading of the scene graphics data file is effected only once directly prior to the beginning of representing a new scene, but in exceptional cases also after a crash on
5 the part of a graphics computer.

The loading procedure begins with a step M10 with which the synchronization master 92 sends a "scene graphics load" command by way of the second channel 80 to all synchronization clients 100 which are monitoring their inputs in parallel with a step C10 until a message is
10 received. Transmission of the "scene graphics load" command is symbolically indicated in Figure 6 by a broken arrow P10 from block M10 to block C10. Besides the command as such, in that case the URL of the scene graphics data file as well as a scene identification number are communicated to the client, see above. The synchronization clients firstly
15 check in a step C2 after the command has been received to ascertain whether the scene graphics data file in question is already loaded into the working memory of the graphics computer in question. If that is not the case the specified scene graphics data file with the values of the scene defined by the scene identification number is then loaded into the working
20 memory, in a step C14. If it was already present there, the procedure omits step C14 and branches straightaway to step C16 with which a "loading complete" message is sent to the synchronization master 92 by way of the second channel 80. The transmission of that message is also symbolically indicated in Figure 6 by a broken arrow P12.

25 In the meantime, in step M12, the synchronization master has caused loading of the scene graphics data file defined in step M10 into the local working memory 86 of the master computer 30. With step M14, the synchronization master waits until a "loading complete" message is received from all active synchronization clients. It is only when that is the
30 case that the synchronization master, in step M16, causes commencement of the image computation and output cycle by the graphics master.

The image computation and output cycle is again illustrated in Figure 8 in the form of two parallel flow charts. The left-hand flow chart sets out the steps which the graphics master executes while the right-hand flow chart sets out the steps which each active graphics client executes.

The steps shown here for the graphics client are effected synchronously but not necessarily at the same time by all active graphics clients. Synchronously means here that only the transition into a new stage in the process (partial image computation, image change) is effected at the same time by all graphics clients.

Both flow charts represent process cycles which are repeatedly executed as long as no commands to a different effect intervene in the procedure from the exterior. Implementation of those cycles can be started and concluded from the exterior, more specifically by the synchronization master and the synchronization clients. Call-up of the process cycle on the graphics master is effected for example with step M16 from Figure 7. Execution of the cycle on a graphics client 94 is interrupted for example if the synchronization client 100 connected thereto receives a "scene graphics load" message by way of the second channel 80.

The process cycle of the graphics master 88 firstly comprises a step M18 with which an update message is sent to all graphics clients 94 at the same time. Transmission of that message on the first channel 82 is symbolically indicated by an arrow P14 which goes from step M18 to a step C20 in which the graphics client 94 monitors the input of its interface to the first channel 82. After the update message is received, all graphics clients, in a step C22, execute computation of their respective partial image of the next scene to be displayed. After that step has been executed, in a step C24 each graphics client sends a "computation finished" message to the graphics master. Once again transmission of that message is indicated by an arrow P16 which goes to a step M20 of the graphics master. In that step, the graphics master 88 waits for the

"computation finished" messages to be received from all active graphics clients. It is only when it has received that message from all graphics clients that the graphics master, with a step M22, sends an "image change" message by way of the first channel to all graphics clients (arrow
5 P18). They wait for that message to be received, in a step C26. Immediately after the message is received, the graphics clients 88, with a step C28, cause an image change by output of the computed image data of their respective partial image to the respective graphics computing unit 98 which actuates the associated projector for projection of the partial
10 image. The graphics clients then jump back to step C20. Directly after step M22 the graphics master switches over to computing the next image in order then to jump back to step M18.

If the graphics client is slower in image computation than the graphics master the update message is taken from a message buffer. The
15 updates are adopted, and thereafter a return message is sent to the graphics master and the system waits for the image switching message. When that is received, the procedure switches over to the image which was last computed.

Figure 9 shows an alternative procedure which differs from that
20 shown in Figure 8 in that the graphics master unit 88 sends a combined update and image change message in a step M26. In a step M28 the graphics master unit then re-computes the field values of the currently loaded scene graphics data file. Upon receipt of the "computation finished" message from all graphics clients (M30) the next update and
25 image change message is sent (M24). After receipt of the update and image change message the graphics client unit computes its partial image (C30), thereafter signals to the graphics master unit the conclusion of the image computation procedure (C32) and then outputs the image data of the computed partial image (C32). In comparison with the method
30 illustrated in Figure 8 the process of the graphics client unit eliminates steps for waiting for messages to be received from the graphics master unit.

CLAIMS

1. Apparatus for image data computation and for synchronous image data output, comprising at least one signal input which can be connected to an external input unit (44, 46, 48), a first message channel (82), a graphics master unit (88) which has a first random access memory (86) adapted to receive a first scene graphics data file which defines objects and/or events which can be illustrated in an image and associates object and event parameter values respectively with the objects and/or events, is connected to the signal input, is connected by way of a first message interface (89) for incoming and outgoing messages to the first message channel (82) and which is adapted to re-compute and store the object and/or event parameter values of the first scene graphics data file in dependence on the current object and/or event parameter values thereof and the current state of the signal input and to produce and send a first message by way of the first message interface (89), wherein the first message contains at least a part of the freshly computed object and/or event parameter values, at least two graphics client units (94), wherein each graphics client unit has a respective second random access memory (96) which is adapted to receive a second scene graphics data file, is connected by way of a second message interface (95) for incoming and outgoing messages to the first message channel (82), has an image data output, and is adapted to receive current object and/or event parameter values by way of the second message interface (95) and to store the received object and/or event parameter values in the second scene graphics data file, to compute image data of an image (72) in dependence on current object and/or event parameter values of the second scene graphics data file, to produce and send a second message to the graphics master unit (88) by way of the second message interface (95) which signals the conclusion of the image data computation of the image, and to output the image data at the image data output.

2. Apparatus as set forth in claim 1 characterized in that the graphics master unit (88) is additionally adapted to produce a third message and to send the third message to each graphics client unit (94) after reception of the second message from each graphics client unit (94) and each graphics client unit (94) is additionally adapted to output the image data at the image data output after reception of the third message.

3. Apparatus as set forth in claim 1 or claim 2 characterized in that the graphics master unit has writing and reading access to a third random access memory (84) which is connected to the second random access memory (86) and in which at least one scene graphics data file is stored, wherein associated with each scene graphics data file contained in the third random access memory (84) is a respective memory address and/or scene graphics identification number.

4. Apparatus as set forth in one of the preceding claims characterized by a second message channel (80), associated with the graphics master unit (88) a synchronization master unit (92) connected to the graphics master unit (88), having a third message interface (93) for incoming and outgoing messages, which connects same to the second message channel (80), and which is adapted to produce a fourth message in which is contained the memory address of a scene graphics data file and/or the scene identification number of the scene graphics data file and to send the fourth message by way of the third message interface (93), associated with each graphics client unit (94) a respective synchronization client unit (100) connected to the associated graphics client unit (94), having a fourth message interface (101) which connects it to the second message channel (80) and which is adapted to receive the fourth message at the fourth message interface (101) and to subsequently cause loading of the scene graphics data file defined in the fourth message into the second data memory (96) and to produce and send a fifth message which signals conclusion of loading of the scene graphics data file, to the

synchronization master unit (92) by way of the fourth message interface (101).

5. Apparatus as set forth in claim 4 characterized in that the synchronization master unit and the synchronization client unit respectively are additionally adapted to produce a first test message and a second test message respectively, to produce a first test answer message after reception of the second test message at the third message interface and to produce a second test answer message after reception of the first test message at the fourth message interface, and to send the respective test and test answer message by way of the second message channel (80).

6. Apparatus as set forth in one of the preceding claims characterized in that the graphics master unit is adapted for real-time computation of the object and event parameters and the graphics client unit is adapted for real-time image data computation.

7. Apparatus as set forth in one of the preceding claims characterized in that the graphics client unit and the graphics master unit are in the form of browsers for the file format VRML, Inventor, Performer and/or X3D.

8. Apparatus as set forth in one of the preceding claims characterized by, in association with each graphics client unit (94), a respective graphics computing unit (98) having a data input for image data, by way of which it is connected to the associated graphics client unit (94) which has a signal output for control signals for controlling a display unit of an image reproduction device and which is adapted to convert image data received at the input into control signals and to output the control signals by way of the signal output.

9. Apparatus as set forth in one of claims 1 through 7 characterized by a partial image switching unit (102) for each two graphics client units (22, 24), having a signal input, at least one first and at least one second image data input which are each associated with a respective graphics client unit (94), a first (104) and a second image data intermediate memory (106) connected to the first and second image data input respectively, an image data output for each pair of first and second image data inputs, which is adapted to output the image data either of the first or the second image data intermediate memory by way of the image data output in dependence on the state of the signal input, and a switching control unit which is connected at the output side to the signal input of the partial image switching unit and which is adapted to produce and deliver at least one control signal at a predeterminable signal delivery frequency.

10. Apparatus as set forth in claim 9 characterized by a graphics computing unit which is connected to the image data output of the partial image switching unit which has a signal output for control signals for controlling a display unit of an image reproduction device, and which is adapted to convert image data received at the input into control signals and to output the control signals by way of the signal output.

11. A graphics master module comprising at least one signal input adapted to receive signals of an external input unit (44, 46, 48), a first message interface which is adapted to send and receive digitally encoded messages, a first random access memory (86) for receiving at least one scene graphics data file which defines objects and/or events which can be represented in an image and which associates object and event parameter values with the objects and/or events respectively, image parameter computation means which are connected to the first random access memory and the signal input and to the message interface and which are adapted to compute object and/or event parameter values

of the first scene graphics data file in dependence on the current object and/or event parameter values thereof and the current state of the signal input, as well as master control means which are connected to the image computation means and the message interface and which are adapted to produce and send a first message by way of the first message interface (89), wherein the first message contains at least a part of the computed object and/or event parameter values.

12. A graphics master module set forth in claim 11 characterized by one or more additional features of the graphics master unit (88) in claims 2 through 10.

13. A graphics client module comprising a second message interface (95) which is adapted to send and receive digitally encoded data, a second random access memory (96) for receiving at least one second scene graphics data file which defines objects and/or events which can be represented in an image and associates object or event parameter values with the objects and/or events respectively, an image data output, and image data computation means which are connected to the second message interface and the second data memory and are adapted to store the object and/or event parameter values received at the second message interface in the second scene graphics data file, to produce image data of an image (72) in dependence on current object and/or event parameter values of the second scene graphics data file, to output the produced image data at the image data output, client control means which are connected to the message interface and to the image data computation means and which are adapted to produce and send a second message to the graphics master unit (88) by way of the second message interface (95) which signals the conclusion of image data computation of the image.

14. A graphics client module as set forth in claim 13 characterized by one or more additional features of the graphics client unit (94) in claims 2 through 10.

15. An image switching module comprising at least one first and at least one second image data input, associated with each pair of first and second image data inputs an image data output, a first and a second image data intermediate memory which is associated with the first and the second image data input respectively, which is connected on the input side to the first and second image data input respectively and adapted to store image data and to output stored image data by way of the associated image data output in response to a first and a second control signal respectively, a switching control unit having a signal output by way of which it is connected to the first and the second image data intermediate memories and which is adapted to produce and deliver the first and second control signals in alternate sequence at a predeterminable signal delivery frequency.

16. An image switching module as set forth in claim 15 characterized in that the switching control unit is adapted for additionally delivering the first and second control signals in the form of electromagnetic radiation, in particular infra-red radiation.

17. An arrangement for producing and simultaneously reproducing at least two partial light images which together can be perceived as a light image having a three-dimensional effect, comprising at least one scattering surface (38, 40; 50, 52, 54) which is adapted for polarization-maintaining scattering of light into a spatial region which in relation to light incident on the scattering surface extends either in front of or behind the scattering surface, two light image projectors (14, 16, 18, 20) associated with a respective scattering surface as image reproduction devices, which each have a control input and which are adapted to convert

a respective number of control signals received at the control input into a respective raster light image composed from light pixels in matrix form and to project the respective raster light image using polarized light, wherein the polarization of the light respectively used by each of the two projectors is oriented differently, and which are arranged to project the respective raster light image onto the associated scattering surface (38, 40; 50, 52, 54), an apparatus for image data computation and for synchronous image data output as set forth in claim 8, which has in association with each light image projector a respective graphics computing unit (98) wherein the signal output of the respective graphics computing unit is connected to the control input of the respective light image projector, and wherein each graphics client unit is adapted to compute raster image data of a partial image, which reproduces the field of view of the left or right eye of a viewer, of an image defined by the current object and/or event parameter values of the second scene graphics data file.

18. An arrangement as set forth in claim 17 characterized in that the projectors each have a polarizer and the polarizers are transmissive for linearly polarized light with mutually perpendicular vibration directions.

19. An arrangement as set forth in claim 17 characterized in that the projectors emit right-circularly and left-circularly polarized light.

20. An arrangement as set forth in one of claims 17 through 19 characterized by two mutually perpendicular scattering surfaces (38, 40) which are adapted for back-scattering of light.

21. An arrangement as set forth in one of claims 17 through 20 characterized in that the scattering surfaces are metallic.

22. An arrangement as set forth in one of claims 17 through 21 characterized by a pair of analyzer spectacles for a viewer, with two lenses, wherein the lens associated with the left eye of the viewer is non-transmissive for light which is emitted by the light image projector or projectors which project the partial image for the right eye, and the lens associated with the right eye of the viewer is non-transmissive for light which is emitted by the light image projector or projectors which project the partial image for the left eye.

23. An arrangement as set forth in one of claims 17 through 22 characterized by five mutually perpendicular scattering surfaces on a floor in such a way that the scattering surfaces and the floor delimit an approximately cubic hollow space, and by two light image projectors for each scattering surface, which emit linearly polarized light and which illuminate the respective scattering surface from outside the hollow space, wherein the scattering surfaces scatter the incident light into the hollow space behind the respective scattering surface.

24. An arrangement for producing and reproducing in succession in respect of time at least two partial light images which together can be perceived as a light image having a three-dimensional effect, comprising at least one scattering surface (38, 40; 50, 52, 54) which is adapted to scatter light into a spatial region which in relation to light incident on the scattering surface extends either in front of or behind the scattering surface, at least one light image projector (14, 16, 18, 20) as an image reproduction device, which is associated with a respective scattering surface and which has a control input and which is adapted to convert a number of control signals received at the control input into a raster light image composed from light pixels in matrix form and to project the raster light image and which is arranged to project the respective raster light image onto the scattering surface (38, 40; 50, 52, 54), an apparatus for image data computation and for synchronous data output as set forth in

claim 9 or claim 10, which has associated with each light image projector a first and a second graphics client unit (98), wherein the image data output of the respective graphics client unit is connected to the first and the second image data input respectively of the partial image switching unit, and wherein the first and second graphics client unit is adapted to compute the raster image data of a partial image, reproducing the field of view of the left or right eye respectively of a viewer, of an image defined by the current object and/or event parameter values of the second scene graphics data file.

25. An arrangement as set forth in claim 24 characterized by two mutually perpendicular scattering surfaces (38, 40).

26. An arrangement as set forth in claim 24 characterized by five mutually perpendicular scattering surfaces on a floor in such a way that the scattering surfaces and the floor delimit an approximately cubic hollow space, and by a light image projector for each scattering surface, which illuminates the respective scattering surface from outside the hollow space.

27. An arrangement as set forth in one of claims 17 through 26 characterized in that the light image projector or projectors (14, 16, 18, 20) are LCD or DLP projectors.

28. An arrangement as set forth in one of claims 17 through 27 characterized by a PC-sound card connected to the graphics master, an audio amplifier connected to the sound card, and at least two loudspeakers connected to the audio amplifier.

29. An arrangement as set forth in one of claims 17 through 28 comprising a first and a second flat scattering surface, wherein the planes defined by the scattering surfaces include an angle, characterized in that

the first and second scattering surfaces adjoin with mutually facing edges a third flat scattering surface in such a way that the third scattering surface adjoins each of the first and second scattering surfaces at a respective obtuse angle.

30. An arrangement as set forth in claim 29 characterized in that the intersection straight lines of the planes defined by the three scattering surfaces extend in mutually parallel relationship.

31. An arrangement as set forth in claim 30 characterized in that the intersection straight lines of the first and second planes with the third plane are each at the same spacing from the intersection straight line of the first plane with the second plane.

32. An arrangement as set forth in one of claims 29 through 31 characterized in that the first and second planes include an obtuse or a right angle.

33. An arrangement as set forth in one of claims 29 through 32 characterized in that the third scattering surface is of a widthwise extent of at least 60 cm.

34. An arrangement as set forth in one of claims 29 through 34 and an apparatus as set forth in one of claims 1 through 10 characterized in that each graphics client unit is adapted to compute and output in each case at least two partial image portions (74, 76) in such a way that a first partial image portion (74) appears free from distortion on the first or second projection surface (38, 40) for a viewer from at least one position and that a second partial image portion (76) appears distortion-free on the third projection surface from the same position.

35. A method of synchronously computing and outputting image data of at least two partial images of an image, in which the partial images are cyclically re-computed in the form of digital partial image data in dependence on image parameter values and/or current input signals and the partial image data are outputted after each computation cycle, characterized in that at the same time a master process and for each partial image a respective client process are executed, wherein the master process includes the following steps:

Re-computation of image parameter values (M24) in dependence on existing image parameter values and/or current input signals;

Sending at least a part of the re-computed image parameter values to all client processes (M18);

Waiting to receive readiness signals from all client processes (M20), and the respective client process includes the following steps:

Receiving the re-computed image parameter values from the master process (C20), after reception of the image parameter values computation of the respective partial image in the form of digitally encoded image data (C22), sending a respective readiness signal to the master process (C24), and outputting the respective partial image (C28).

36. A method as set forth in claim 35 characterized in that the master process additionally includes a step of sending an image change signal to all client processes (M22) after reception of all readiness signals and the client process additionally includes a step of waiting for reception of the image change signal from the master process (C26).

37. A method as set forth in claim 35 or claim 36 characterized in that the image parameters are computed in dependence on the master process by externally transmitted input data.

38. A method as set forth in one of claims 35 through 37 characterized in that after reception of the readiness signal from all client

processes the master process jumps back to computation of the image parameter values (M24) of a fresh image and after the image change the client process jumps back to receive the image parameter values from the master process (C20).

ABSTRACT

The invention concerns an apparatus for image data computation and for synchronous data output. The invention further concerns an arrangement for producing and reproducing two partial light images which together can be perceived as a light image having a three-dimensional effect. Finally the invention concerns a method of synchronous reproduction of time image sequences by at least two image reproduction devices. The apparatus according to the invention has a master-client structure. A graphics master unit (88) and at least two graphics clients (94) are connected together by way of a first message channel (82) and by way thereof exchange first messages, by means of which computation and projection of the partial images is synchronized.

Figure 5

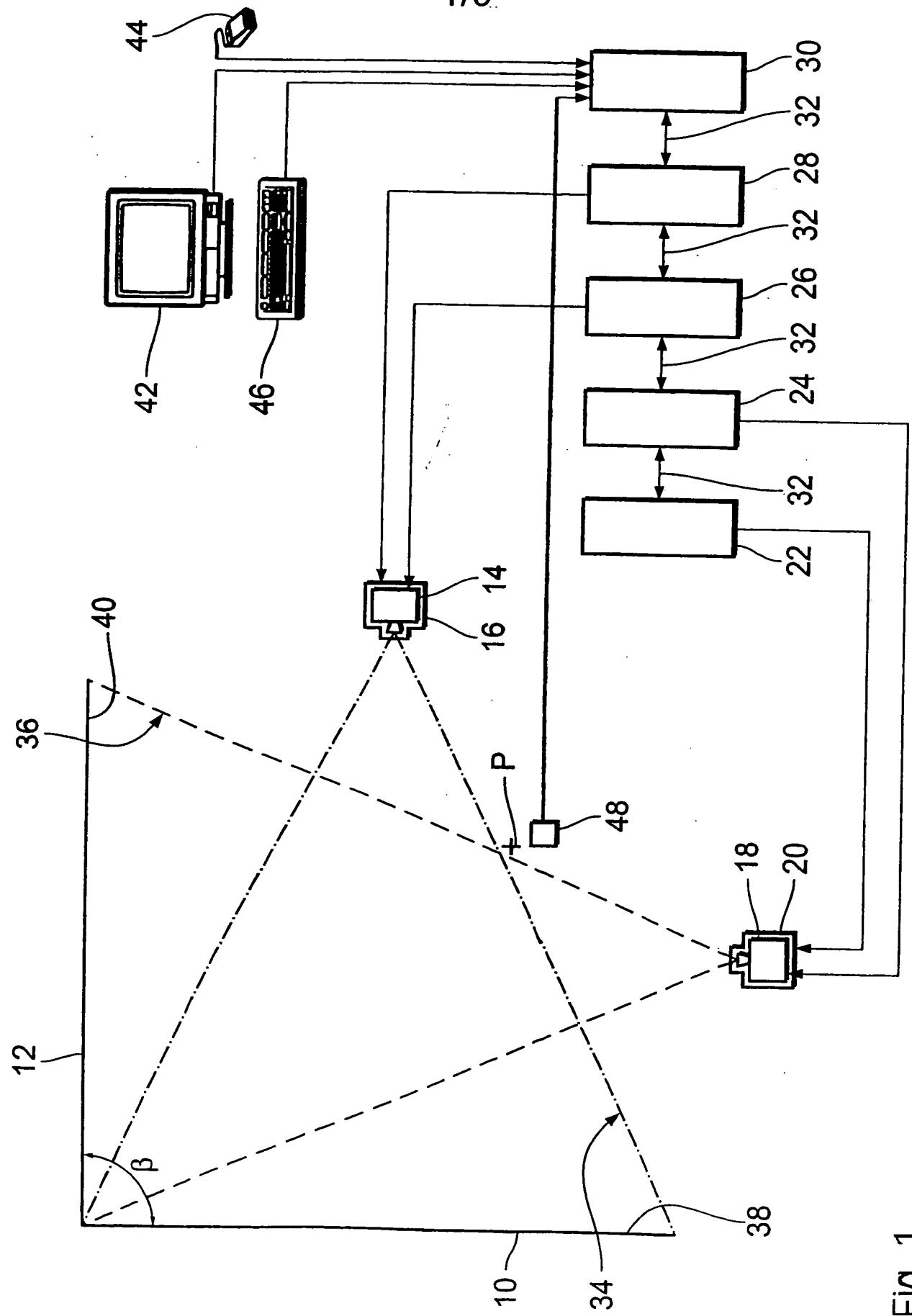


Fig. 1

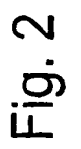


Fig. 2

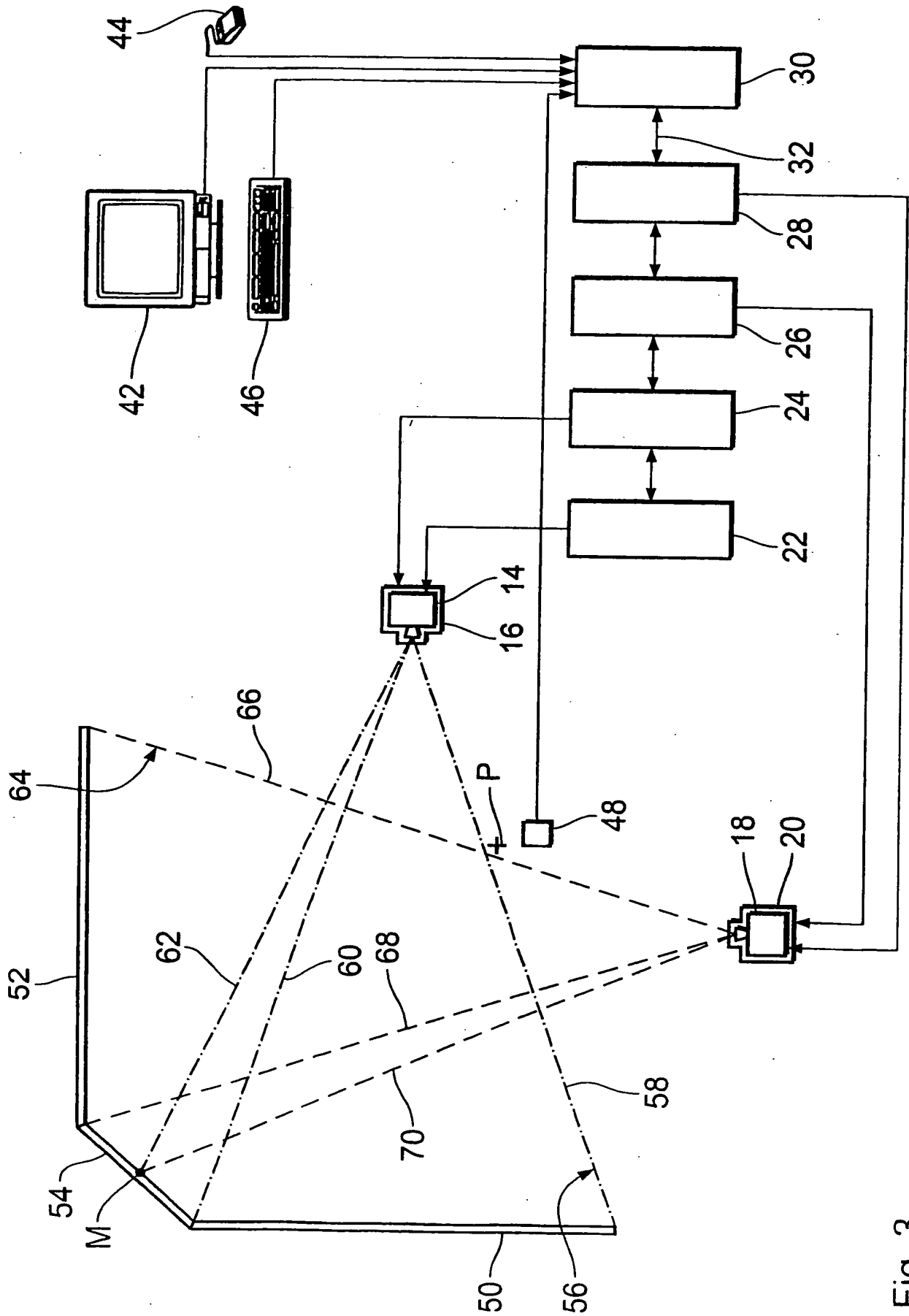


Fig. 3

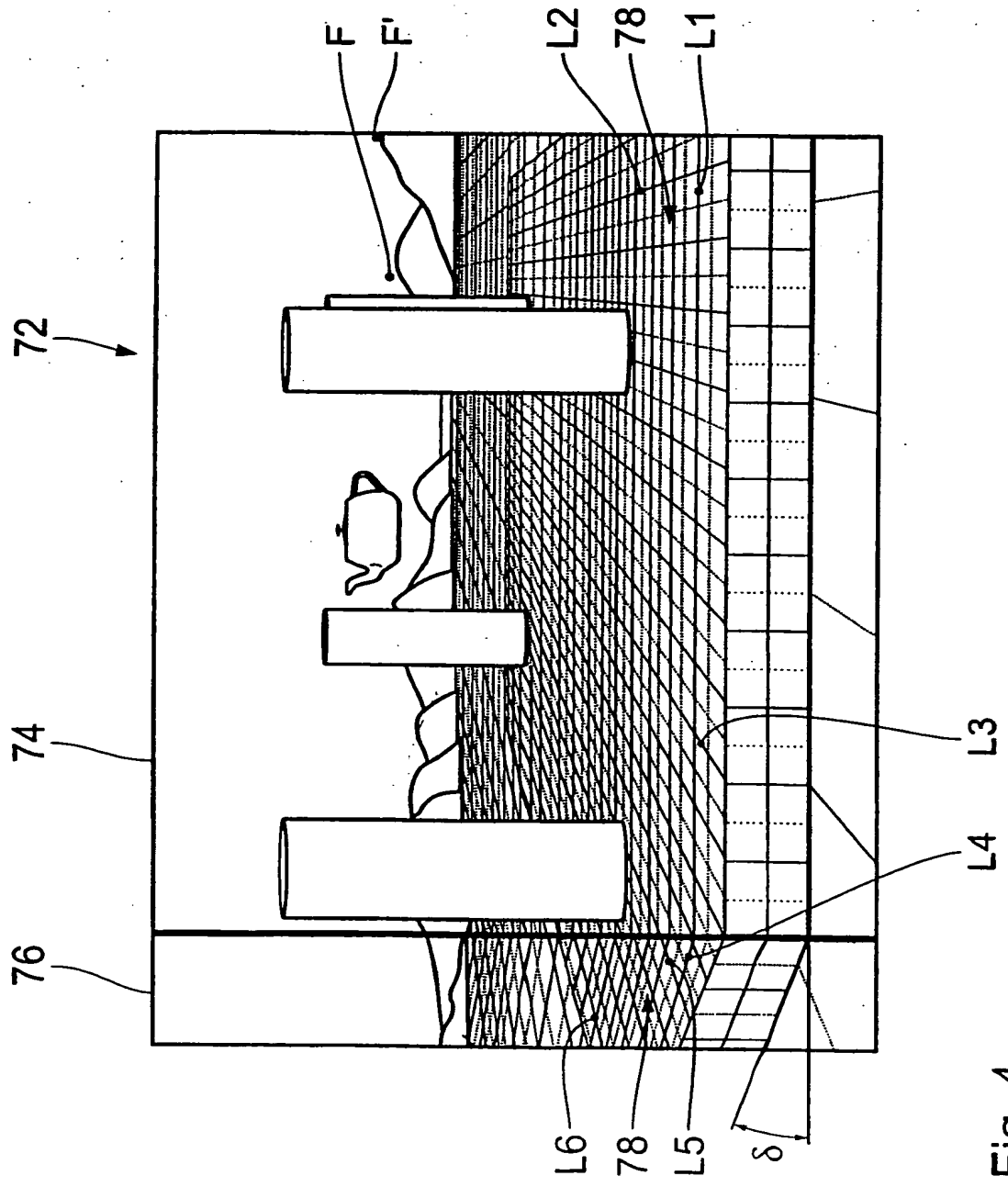
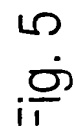


Fig. 4



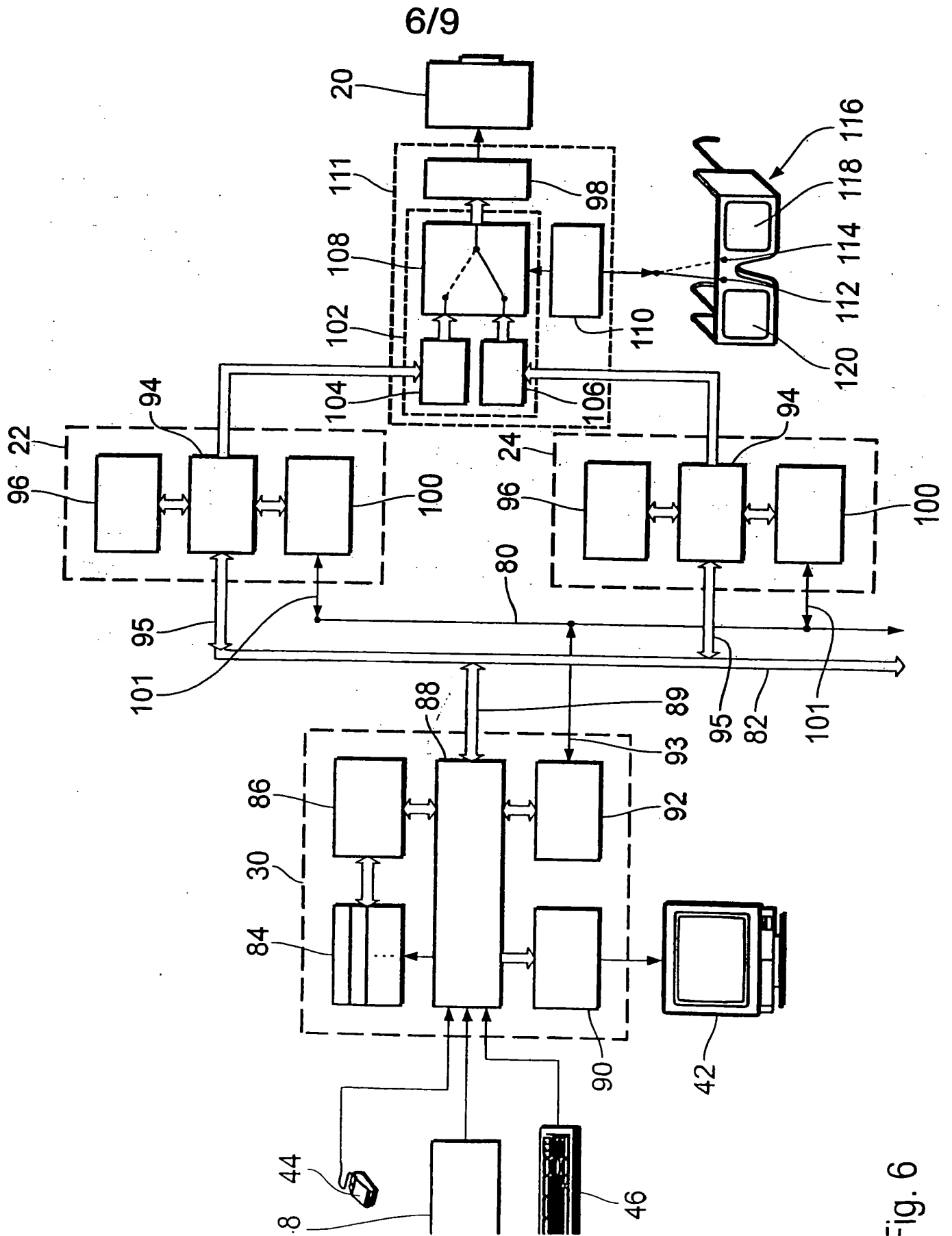


Fig. 6

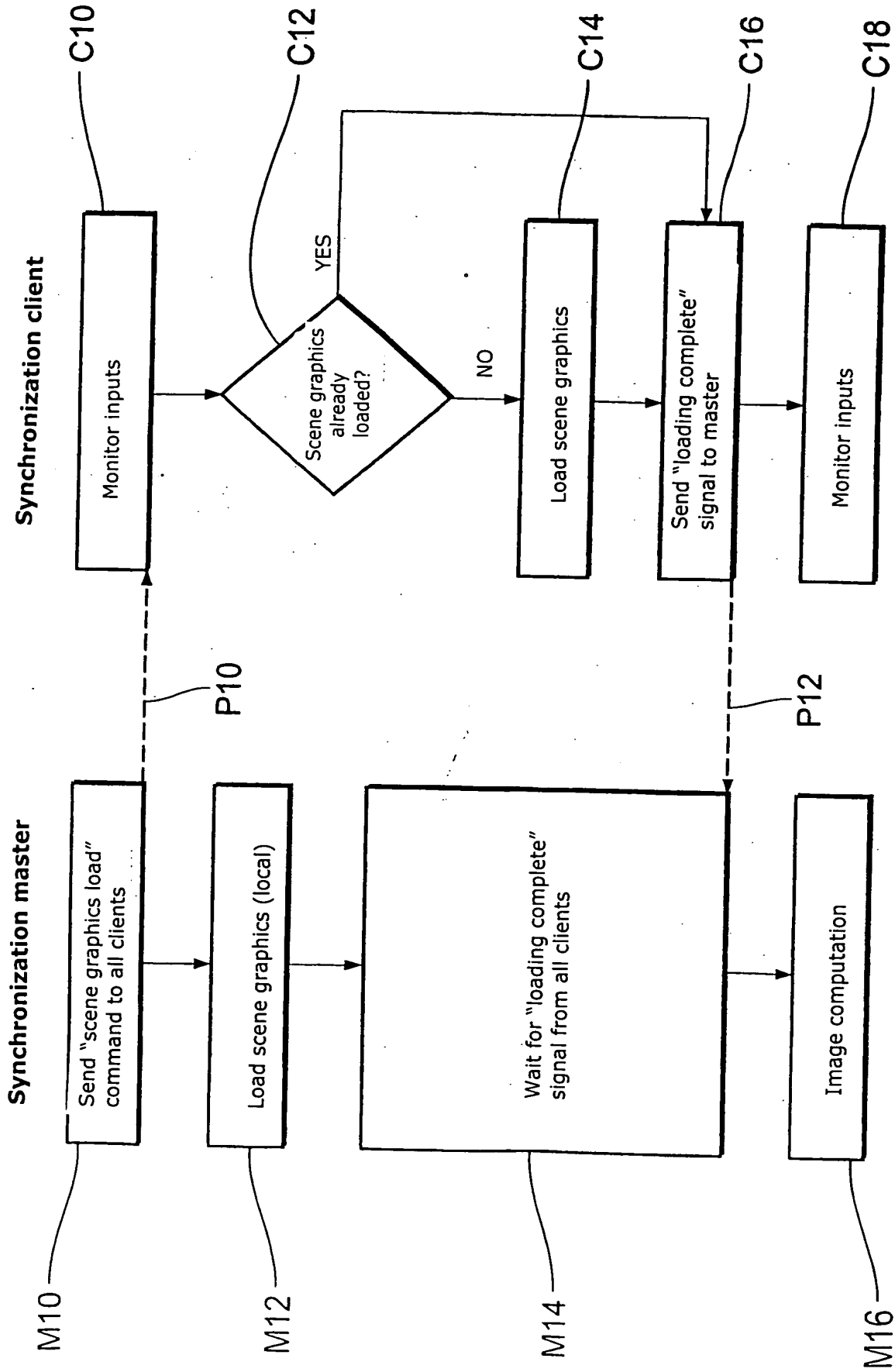


Fig. 7

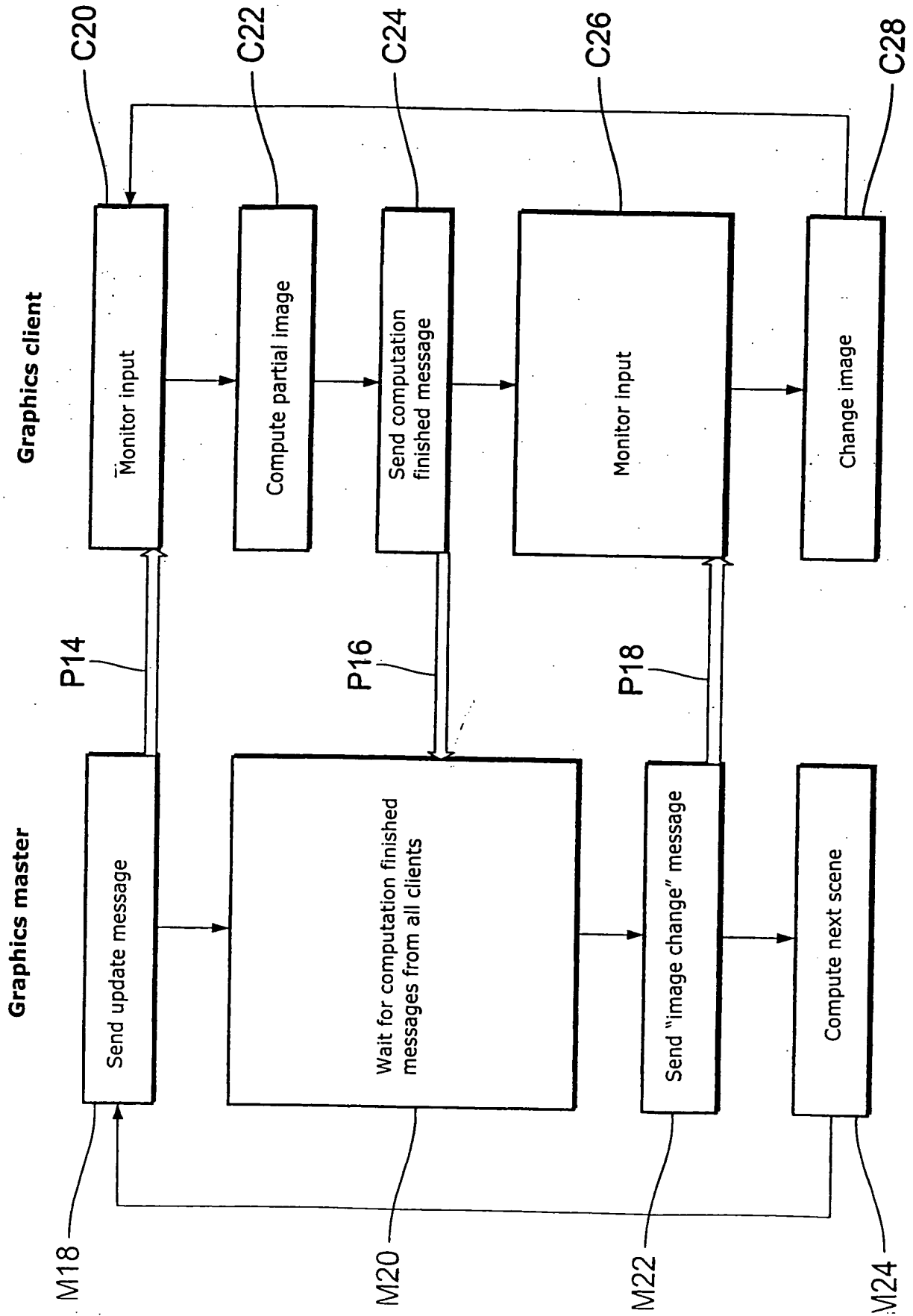


Fig. 8

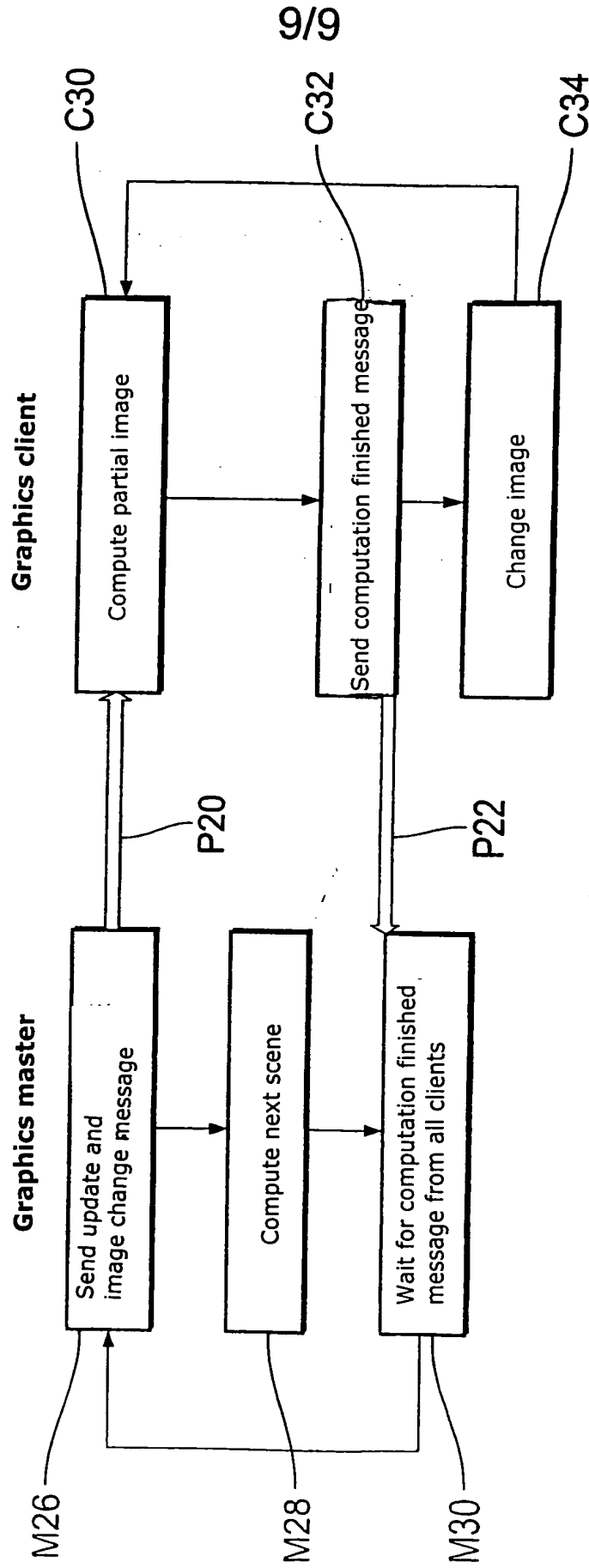


Fig. 9

München
Patentanwälte
European Patent Attorneys
Dipl.-Phys. Heinz Nöth
Dipl.-Wirt.-Ing. Rainer Fritsche
Lbm.-Chem. Gabriele Leißler-Gerstl
Dipl.-Ing. Olaf Ungerer
Patentanwalt
Dipl.-Chem. Dr. Peter Schuler

Alicante
European Trademark Attorney
Dipl.-Ing. Jürgen Klinghardt

Berlin
Patentanwälte
European Patent Attorneys
Dipl.-Ing. Henning Christiansen
Dipl.-Ing. Joachim von Oppen
Dipl.-Ing. Jutta Kaden
Patentanwalt
Dipl.-Phys. Dr. Andreas Theobald

Pacelliallee 43/45
D-14195 Berlin
Tel. +49-(0)30-841 8870
Fax +49-(0)30-8418 8777
Fax +49-(0)30-832 7064
mail@eisenfuhr.com
http://www.eisenfuhr.com

Bremen
Patentanwälte
European Patent Attorneys
Dipl.-Ing. Günther Eisenführ
Dipl.-Ing. Dieter K. Speiser
Dr.-Ing. Werner W. Rabus
Dipl.-Ing. Jürgen Brügge
Dipl.-Ing. Jürgen Klinghardt
Dipl.-Ing. Klaus G. Göken
Jochen Ehlers
Dipl.-Ing. Mark Andres
Dipl.-Chem. Dr. Uwe Stilkenböhmer
Dipl.-Ing. Stephan Keck
Dipl.-Ing. Johannes M. B. Wasiljeff
Patentanwalt
Dr.-Ing. Stefan Sasse

Rechtsanwälte
Ulrich H. Sander
Christian Spintig
Harald A. Förster
Sabine Richter

Hamburg
Patentanwalt
European Patent Attorney
Dipl.-Phys. Frank Meier

Rechtsanwälte
Rainer Böhm
Nicol A. Schrömgens, LL.M.

Berlin, 11. Februar 2002

Unser Zeichen: FB1045 JVO/js
Durchwahl: 030/841 887 0

**Anmelder/Inhaber: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung
der angewandten Forschung e.V.**

Amtsaktenzeichen: Neuanmeldung

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.
Leonrodstraße 54, D-80636 München

Anordnung und Verfahren zur räumlichen Visualisierung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Graphikmastermodul, ein Graphikclientmodul und ein Bildumschaltmodul. Des weiteren betrifft die Erfindung eine Anordnung zur Erzeugung und gleichzeitigen Wiedergabe mindestens zweier Teillichtbilder, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind, sowie eine Anordnung zur Erzeugung und zeitlich nacheinander erfolgenden Wiedergabe mindestens zweier Teillichtbilder, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind. Schließlich betrifft die Erfindung ein Verfahren zum synchronen Berechnen und Ausgeben von Bilddaten mindestens zweier Teilbilder eines Bildes.

Die Darstellung räumlich wirkender Bilder beruht auf der Wiedergabe zweier Teilbilder auf einem Bildschirm in Stereo-Projektion. Ein erstes Teilbild gibt eine Szene so wieder, wie sie das linke Auge eines Betrachters sehen würde, ein zweites Teil-

bild so, wie sie dem rechten Auge des Betrachters erscheinen würde. Der Betrachter sieht dabei durch eine Spezialbrille, die jedem Auge nur das dafür vorgesehene Bild übermittelt. Durch getrennte Wahrnehmung der Teilbilder mit dem linken und rechten Auge entsteht bei ihm der Eindruck einer räumlichen Wahrnehmung.

Dieser Effekt kann mit Hilfe aktiver oder passiver Stereo-Projektionsverfahren erzeugt werden. Aktive Verfahren projizieren mit hoher Frequenz (etwa 100Hz) abwechselnd Teilbilder für das linke und das rechte Auge. Der Betrachter trägt eine Filterbrille, deren Gläser einen veränderbaren Transmissionsgrad aufweisen. Das für das jeweilige Auge unerwünschte Teilbild wird abgeblockt, indem die Lichtdurchlässigkeit des betreffenden Glases zum Bildwechsel synchron auf einen niedrigen Wert geschaltet wird. Dies kann beispielsweise mit Hilfe von Infrarotsignalen durch das Bildberechnungs- und Ausgabesystem gesteuert werden. Aktive Verfahren haben den Vorteil, dass für jede Projektionsfläche grundsätzlich nur ein Projektor benötigt wird, der abwechselnd Teilbilder für das linke und das rechte Auge projiziert.

Passive Verfahren projizieren die Teilbilder für beide Augen gleichzeitig, jedoch mit unterschiedlicher Lichtpolarisation. Sie benötigen daher zwei Projektoren für jede Projektionsfläche, deren Teilbilder stets gleichzeitig auf die Projektionsfläche abgebildet werden und sich dort überlagern. Das Teilbild für das linke Auge kann beispielsweise horizontal und das Teilbild für das rechte Auge vertikal polarisiert sein. Auch links- und rechtszirkulare Polarisation wird verwendet. Der Betrachter trägt wiederum eine Filterbrille, deren Gläser jeweils nur Licht einer Polarisationsrichtung durchlassen. Im erstgenannten Beispiel ließe das linke Brillenglas nur horizontal polarisiertes Licht durch und das rechte Brillenglas nur vertikal polarisiertes Licht. Das für das jeweilige Auge unerwünschte Teilbild wird aufgrund seiner "falschen" Polarisation abgeblockt. Passive Stereoprojektionsverfahren können geringeren mit Bilderneuerungsfrequenzen als aktive Verfahren arbeiten, da jeder Projektor nur ein Auge bedient. Es werden beispielsweise Frequenzen von ca. 50Hz verwendet.

Es sind verschiedene Anordnungen mit unterschiedlicher Anzahl von Projektionsflächen bekannt. Werden zwei oder mehr Projektionsflächen verwendet, stehen diese in der Regel senkrecht zueinander, um ein möglichst großes Gesichtsfeld des Betrachters abzudecken und dadurch bei ihm einen realistischeren räumlichen

Eindruck zu erzielen. Auf jeder Projektionsfläche werden zwei Teilbilder abgebildet, von denen jedes jeweils einen Teil des Gesichtsfeldes eines Auges wiedergibt. Wird nicht nur auf vier senkrecht zueinander stehende Wänden, sondern auch noch auf Boden und Decke ein dreidimensional wirkendes Bild erzeugt, ist der räumliche optische Eindruck perfekt und der Betrachter meint, in die dargestellte Szene "eingetaucht" zu sein.

Für die Bildprojektion bei passiven Verfahren werden polarisationserhaltende Streuwände eingesetzt. Polarisationserhaltende Streuwände sind sowohl als rückstreuende wie auch als lichtdurchlässige, vorwärtsstreuende Anordnungen kommerziell erhältlich. Die Bildprojektion auf die Streuwand kann daher auch bei passiven Verfahren von der Seite des Betrachters her oder von der dem Betrachter abgewandten Seite der Streuwand her erfolgen.

Die Verwendung linear polarisierten Lichts mit zueinander senkrechten Schwingungsrichtungen des elektrischen Feldvektors hat bei den passiven Verfahren den Vorteil, dass die Unterdrückung der jeweils anderen Polarisationsrichtung durch die Brillengläser besonders stark ist. Jedoch steigt der Anteil des von beiden Brillengläsern transmittierten "falsch" polarisierten Lichts, wenn der Betrachter seinen Kopf neigt. Aus diesem Grund wird bei Anordnungen, die auch auf den Boden und/oder an die Decke ein dreidimensional wirkendes Bild werfen, grundsätzlich zirkular polarisiertes Licht verwendet. Der Nachteil dieser Methode ist die schlechtere Unterdrückung des jeweils "falsch" polarisierten Lichts.

Mittlerweile sind interaktive Projektionssysteme für dreidimensional wirkende Bilder bekannt, bei denen der Betrachter durch ein Eingabegerät die dargestellte Szene verändern kann. Beispielsweise kann der Betrachter seinen scheinbaren Standpunkt oder Blickwinkel relativ zur dargestellten räumlichen Szene durch entsprechende Steuerbefehle verändern und erhält so den Eindruck, sich innerhalb dieser Szene wie in einer wirklichen dreidimensionalen Umgebung zu bewegen.

Derartige interaktive Systeme weisen neben einer oder mehreren Projektionsflächen und einer entsprechenden Anzahl von Projektoren ein oder mehrere Eingabegeräte auf. Als Eingabegeräte dienen beispielsweise am Kopf des Betrachters befestigte Sensoren, die eine Bestimmung der Blickrichtung ermöglichen sowie Zeigegeräte oder Sensorhandschuhe. Eingabegerät und Projektoren sind mit einem

Graphikcomputer verbunden, der anhand der Signale des Eingabegerätes für jeden Projektor die nächste darzustellende Szene berechnet und an diesen ausgibt.

Ein besonders wichtiger Aspekt der Projektionssteuerung ist die Synchronisierung der Teilbildprojektion auf den unterschiedlichen Projektionsflächen. Zur Erzielung der räumlichen Wirkung müssen die verschiedenen Teilbilder für das linke Auge und für das rechte Auge auf allen Projektionsflächen jeweils gleichzeitig sichtbar sein. Das heißt, dass alle Teilbilder die Gesamtszene in ein und derselben Phase (denselben "Frame") zugleich darstellen müssen. Die Bildberechnung (das "Rendering") für die einzelnen Teilbilder darf also nicht "auseinanderlaufen", derart, dass ein Teilbild die Szene in einem weiter fort entwickelten Stadium darstellt als ein anderes.

Dieses Problem wird bei einem unter dem Markennamen "CAVE" bekannten, aktiven Stereo-Projektionssystem mit sechs Projektionsflächen durch ein integriertes Berechnungs- und Steuersystem für die zu projizierenden Teilbilder aller sechs Projektoren gelöst. Dieses System verwendet hierzu einen SGI Onyx2-Rechner von Silicon Graphics mit zwölf R10000 Prozessoren, 4 Gigabyte Arbeitsspeicher und einer Graphikeinheit mit drei InfiniteReality Graphics Pipes, von denen jede zwei Rastermanager mit 64 Megabyte Arbeitsspeicher umfasst.

Der Nachteil eines diesen Systems ist, dass das verwendete Berechnungs- und Steuersystem eine hoch entwickelte, aufwändige Spezialanfertigung ist, die kostenintensiv in ihrer Anschaffung und Wartung ist.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe anzugeben, die mit geringem Aufwand herstellbar ist.

Die Aufgabe erfindungsgemäß wird durch eine Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Weitere unabhängige und jeweils selbstständig schutzwürdige Aspekte des Erfindungsgedankens bilden ein Graphikmastermodul mit den Merkmalen des Anspruchs 11, ein Graphikclientmodul mit den Merkmalen des Anspruchs 13, ein Bildumschaltmodul mit den Merkmalen des Anspruchs 15, eine Anordnung zur Erzeugung und gleichzeitigen Wiedergabe mindestens zweier Teillichtbilder, die

zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind, mit den Merkmalen des Anspruchs 17, eine Anordnung zur Erzeugung und zeitlich nacheinander erfolgenden Wiedergabe mindestens zweier Teillichtbilder, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind, mit den Merkmalen des Anspruchs 24, sowie ein Verfahren zum synchronen Berechnen und Ausgeben von Bilddaten mindestens zweier Teilbilder eines Bildes, mit den Merkmalen des Anspruchs 35.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe weist eine Master-Client-Struktur auf. Eine Graphikmastereinheit - im folgenden auch kurz als Graphikmaster bezeichnet - und mindestens zwei Graphikclienteinheiten - kurz Graphikclients - sind über einen ersten Nachrichtenkanal miteinander verbunden und tauschen Nachrichten aus, mit denen eine Synchronisierung ihrer Prozesse erreicht wird. Der Erfindungsgedanke ermöglicht einen gegenüber bekannten Vorrichtungen wesentlich vereinfachten Aufbau, der die Herstellung der Vorrichtung auch mit geringem Aufwand ermöglicht.

Die Graphikmastereinheit weist einen ersten Schreiblesespeicher auf, in dem eine erste Szenengraphdatei abgelegt ist. Unter einer Szenengraphdatei wird eine Datei mit Definitionen in einem Bild darstellbarer Objekte und/oder Ereignisse verstanden, in den der Objekten und/oder Ereignissen Objekt- bzw. Ereignisparameterwerte zugeordnet werden. Szenengraphdateien können in unterschiedlichen Dateiformaten verfasst sein, beispielsweise in VRML, X3D, Inventor oder Performer. Der Schreiblesespeicher kann beispielsweise als RAM-Baustein ausgebildet sein, um die Schreib- und Leseprozesse besonders schnell durchführen zu können.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist vorzugsweise einen oder mehrere Signaleingänge auf für externe Eingabegeräte, über die beispielsweise ein Betrachter auf das dargestellte Bild Einfluss nehmen kann. Die Signaleingänge sind mit der Graphikmastereinheit verbunden und beeinflussen die von ihr zyklisch durchgeführte Neuberechnung der Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte der ersten Szenengraphdatei, in die auch die bis dahin gültigen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerten einfließen.

Während oder nach der Neuberechnung der Objekt- und Ereignisparameterwerte erzeugt der Graphikmaster eine erste Nachricht, die er anschließend über den

ersten Nachrichtenkanal an alle angeschlossenen Graphikclients sendet. Die erste Nachricht, auch Update-Nachricht genannt, enthält mindestens einen Teil der neu berechneten Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte. Nicht alle Parameterwerte müssen in jedem Zyklus an die Graphikclients übermittelt werden, wie weiter unten näher erläutert wird. Bei den übermittelten Objekt- und Ereignisparameterdaten handelt es sich beispielsweise um vom Graphikmaster neu berechnete Werte der Felder von Knoten einer im Dateiformat VRML (Virtual Reality Modeling Language) verfassten Szenengraphdatei.

Jede mit dem Graphikmaster verbundene Graphikclienteinheit - auch kurz als Graphikclient bezeichnet - weist zweiten Schreiblesespeicher auf, in den eine zweite Szenengraphdatei geladen wird. Bei der zweiten Szenengraphdatei handelt es sich um eine Kopie der ersten Szenengraphdatei mit den Objekt- und Ereignisparameterwerten, die vom Graphikmaster zuletzt übermittelt wurden. Daher sind die erste und zweite Szenengraphdatei in der Regel nicht identisch. Die Objekt- und Ereignisparameterwerte der zweiten Szenengraphdatei sind vielmehr gegenüber den Werten der ersten Datei einen Berechnungszyklus im Rückstand.

Die in der empfangenen Update-Nachricht enthaltenen Objekt- und Ereignisparameterwerte werden von der Graphikclienteinheit in der zweiten Szenengraphdatei abgespeichert, wobei die bisherigen Werte überschrieben werden, soweit aktualisierte Werte für sie in der Update-Nachricht enthalten sind. Die Graphikclients aktualisieren also ihre zweite Szenengraphdatei im jeweiligen zweiten Schreiblesespeicher mit jeder Update-Nachricht vom Graphikmaster. Der Graphikmaster ist mit der Berechnung stets einen Schritt voraus.

Anhand der zweiten Szenengraphdatei berechnet jeder Graphikclient Bilddaten eines Bildes und sendet eine zweite Nachricht, im folgenden auch "Berechnen-Fertig"-Nachricht genannt, an die Graphikmastereinheit über den ersten Nachrichtenkanal, die den Abschluss der Bilddatenberechnung des Bildes signalisiert. Die erzeugten Bilddaten werden an einem Bilddatenausgang abgegeben.

Bei den von den Graphikclients erzeugten Bilddaten handelt es sich vorzugsweise um Rasterbilddaten. Mit Rasterbilddaten wird ein Bild in Form matrixförmig angeordneter Bildelemente definiert. Jedes Bildelement ist durch seine Matrixkoor-

dinaten identifizierbar. Diesen sind zusätzlich Farb- oder Helligkeitswerte in einem der gängigen Farbsysteme (z.B. RGB) zugeordnet.

Die berechneten Bilddaten können in anschließenden Remapping-Verfahren durch die Graphikclients modifiziert werden. Beispielsweise kann bei der Stereoprojektion ein Teilbild, etwa für das linke Auge, vom zugeordneten Graphikclient in zwei oder mehr Teilbildteile aufgeteilt werden, die auf eine entsprechende Anzahl zueinander angewinkelt stehenden Projektionsflächen wiedergegeben werden sollen. Hierzu wird für einen oder beide Teilbildteile eine Umrechnung der betroffenen Bilddaten in Abhängigkeit von der Anordnung des Projektors relativ zu den Projektionsflächen und vom Winkel zwischen den Projektionsflächen vorgenommen, derart, dass für einen Betrachter der projizierten Teilbildteile der Winkel zwischen den Projektionsflächen nicht erkennbar ist.

Der Eingang der "Berechnen-Fertig"-Nachricht von allen Graphikclients veranlasst den Graphikmaster, die Objekt- und Ereignisparameterwerte der Szenengraphdatei erneut zu aktualisieren und so einen neuen Bildberechnungszyklus zu starten.

Die Neuberechnung der Objekt- und Ereignisparameter der ersten Szenengraphdatei durch den Graphikmaster kann erfolgen, während die Graphikclients die Bilddatenberechnung anhand der zuletzt übermittelten Parameterwerte durchführen. Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist eine etwa gleichmäßige Belastung der Graphikmastereinheit und der mit ihr verbundenen Graphikclienteneinheiten gegeben. Die jeweiligen Rechenprozesse dauern daher etwa gleich lang, so dass insgesamt eine optimale Berechnungsgeschwindigkeit erzielt wird, die hohe Bilderneuerungsfrequenzen ermöglicht.

Doch kann aufgrund möglicherweise unterschiedlicher Bildinhalte der von den Graphikclients zu berechnenden Bilder nicht ausgeschlossen werden, dass unterschiedliche Berechnungsdauern bei Graphikmaster und Graphikclients, oder im Vergleich der Graphikclients auftreten. Wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist, dass die Bilddatenberechnung und die Bilddatenausgabe durch die Graphikclienteneinheiten aufgrund des Austausches der genannten Nachrichten immer gleichzeitig gestartet werden. Daher berechnen alle Graphikclients ihr Bild immer auf der Basis derselben Objekt- und Ereignisparameterwerte. Verzögert sich die Bildberechnung eines Graphikclients, wartet der Graphikmaster bis

zum Abschluss der verzögerten Bildberechnung, bevor alle Graphikclients gleichzeitig eine neue Update-Nachricht empfangen. Ein "Auseinanderlaufen" der Graphikclients ist bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung nicht möglich. Dies ist wichtig bei jeder Ausgabe von veränderlichen Bildern in Form mehrerer Teilbilder durch mehrere Projektoren. Denn es ist sichergestellt, dass die ausgegebenen Teilbilder immer synchron berechnet und ausgegeben werden.

Es ist nicht erforderlich, dass die Graphikmastereinheit und die Graphikclienteinheit in einem Gerät integriert sind. Vielmehr entfaltet die Vorrichtung gerade ihre Vorteile, wenn Graphikmastereinheit und Graphikclienteinheiten voneinander getrennt sind, beispielsweise auf unterschiedlichen Computern implementiert sind.

In der Tat kann die erfindungsgemäße Vorrichtung auf PCs mit ladenüblicher Hardwareausstattung implementiert werden, die über ein Standard-Ethernet-Netzwerk miteinander verbunden sind. Ein PC arbeitet als Graphikmaster, für jeden Graphikclient kann ein weiterer PC vorgesehen werden. Graphikmaster und Graphikclient können in Form von Softwaremodulen implementiert werden. Bei einer weiteren Ausführungsform ist ein integriertes Softwarepaket vorgesehen, das eine Auswahl zwischen der Master- oder der Client-Funktionalität ermöglicht.

Die Verwendung ladenüblicher PC-Hardware hat den Vorteil, dass einzelne Bestandteile wie Graphikkarte, Prozessor, etc. im Laufe der Zeit problemlos durch leistungsfähigere, preisgünstige und Modelle ersetzt werden können. Dadurch kann das System mit geringen Wartungskosten stets auf dem aktuell höchsten Leistungsstand gehalten werden.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung eignet sich für aktive wie passive Stereo-Projektionsmethoden. Die oben beschriebene Parameter und Bilddatenberechnung ist unabhängig von der Projektionsmethode. Ein erster Graphikclient berechnet ein erstes Teilbild, das das Gesichtsfeld des linken Auges wiedergibt, ein zweiter Client berechnet ein zweites Teilbild, das das Gesichtsfeld des rechten Auges wiedergibt. Sind mehrere Projektionsflächen vorgesehen, weist die Vorrichtung entsprechend für jede weitere Projektionsfläche zwei weitere Graphikclients auf, die die Teilbildberechnung für das linke bzw. rechte Auge durchführen. Die hierfür erforderlichen Parameterwerte der Kameraposition für das linke und für das rechte Auge werden von der Graphikclienteinheit anhand der von der Graphikmasterein-

heit übermittelten Objekt- und Ereignisparameterwerte mit Hilfe einfacher Algorithmen berechnet. Die Graphikmastereinheit kann grundsätzlich für jedes Teilbild eine Update-Nachricht senden, tut dies aber vorzugsweise nur alle zwei Teilbilder, nachdem für jedes Auge vom betreffenden Graphikclient ein Teilbild der aktuellen Szene berechnet und ausgegeben wurde. Bei der aktiven wie bei der passiven Stereo-Projektion können die Teilbilddaten von den verschiedenen Graphikclients gleichzeitig ausgegeben werden. Die bei der aktiven Stereo-Projektion erforderliche abwechselnde Projektion der Teilbilder für das linke und rechte Auge wird von nachgeschalteten Einheiten gesteuert. Hierauf wird weiter unten näher eingegangen.

Die erfindungsgemäße Anordnung kann für die aktive Stereoprojektion auf eine Projektionsfläche auch mit lediglich einem Graphikmaster und einem Graphikclient betrieben werden. Beide Einheiten können dann in einem Computer integriert, alternativ zur besseren Lastverteilung jedoch auch auf zwei Rechnern implementiert werden.

Der Einsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist nicht auf Stereo-Projektions-Anordnungen zur Wiedergabe räumlich wirkender Bilder beschränkt. Sie kann für jede Form der synchronen Projektion durch mehrere Projektoren eingesetzt werden. Beispielsweise können auch zweidimensionale bildliche Simulationen auf mehreren Projektionsflächen in einem Raum oder in unterschiedlichen Räumen synchron wiedergegeben werden. Graphikmaster und Graphikclients kommunizieren über ein Netzwerk.

Bei einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist die Graphikmastereinheit zusätzlich ausgebildet zum Erzeugen einer dritten Nachricht und zum Senden der dritten Nachricht an jede Graphikclienteinheit nach dem Empfang der zweiten Nachricht von jeder Graphikclienteinheit her. Jede mit dem Graphikmaster verbundene Graphikclienteinheit ist zusätzlich ausgebildet zum Ausgeben der Bilddaten am Bilddatenausgang nach dem Empfang der dritten Nachricht. Bei dieser Ausführungsform warten die Graphikclients mit der Ausgabe der Bilddaten bis zum Eintreffen der dritten Nachricht, die daher auch als "Bild-Wechseln"-Nachricht bezeichnet wird. Diese Ausführungsform stellt mit der Übersendung der zusätzlichen dritten Nachricht die synchrone Bilddatenausgabe sicher.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist ein dritter Schreiblesespeicher vorgesehen, auf den die Graphikmastereinheit Schreib- und Lesezugriff hat. Bei dem dritten Schreiblesespeicher handelt es sich vorzugsweise um einen Massenspeicher in Form einer magnetischen Festplatte, der viele unterschiedliche Szenengraphdateien aufnehmen kann. Ist die Graphikmastereinheit auf einem herkömmlich ausgestatteten PC implementiert, können Bereiche von dessen Festplatte für die Aufnahme unterschiedlicher Szenengraphdateien genutzt werden. Der dritte Schreiblesespeicher ist mit dem zweiten Schreiblesespeicher verbunden, so dass ein aktuell darzustellender Szenengraph vor Beginn der ersten Parameterberechnung vom dritten in den zweiten Schreiblesespeicher geladen werden kann. Auch ein Abspeichern einer durch aktuelle Parameterwerte veränderten Fassung des auf dem dritten Schreiblesespeicher abgelegten Szenengraphs ist möglich. Schließlich kann die Szenengraphdatei auf dem dritten Schreiblesespeicher auch unabhängig von der aktuellen Bildberechnung von extern verändert werden.

Jeder im dritten Schreiblesespeicher enthaltenen Szenengraphdatei ist je eine Speicheradresse (URL) und/oder eine Szenengraphkennzahl zugeordnet ist. Die Szenengraphkennzahl dient in erster Linie zur Unterscheidung verschiedener Versionen einer Szenengraphdatei, wird also vorzugsweise nur in Fällen der URL hinzugefügt, in denen die URL allein nicht zur eindeutigen Identifizierung einer zu ladenden Szenengraphdatei genügt.

Bevorzugt sind die Graphikmastereinheit und die Graphikclienteinheit zur Echtzeit-Bildberechnung ausgebildet. Auf diese Weise wird bei der Darstellung räumlich wirkender Bilder eine Benutzerinteraktion über ein mit dem Graphikmaster verbundenes Eingabegerät ohne spürbare Verzögerung in eine Veränderung der dargestellten Szene umgesetzt. Tatsächlich ist eine Verzögerung von einem "Frame", entsprechend einem Bildberechnungszyklus gegeben, da der Graphikmaster den Graphikclients stets einen Zyklus voraus ist. Hierbei handelt es sich jedoch um eine Verzögerungszeitspanne im Bereich von maximal 20 ms bei einer Bildwiederholrate von 50Hz, die durch Einstellung einer höheren Bildwiederholrate weiter verkürzt werden kann. Sie ist für einen Betrachter der Szene nicht wahrnehmbar.

Graphikclienteinheit und Graphikmastereinheit weisen vorzugsweise die Funktionsmerkmale eines Browsers für das Dateiformat VRML, Inventor, Performer und/oder X3D auf. Bei einem Ausführungsbeispiel der Erfindung bauen Graphikmasterein-

heit und Graphikclienteinheit jeweils auf einem Open-Source VRML-Browser (Blaxxun 2.0) auf.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung weist einen zweiten Nachrichtenkanal auf. Hierbei kann es sich wie beim ersten Nachrichtenkanal um einen logischen Nachrichtenkanal handeln, der physikalisch beispielsweise durch einer übliche Ethernet- Netzwerkverbindung realisiert sein kann.

Über den zweiten Nachrichtenkanal kommunizieren eine Synchronisationsmaster-einheit, die mit der Graphikmastereinheit verbunden ist, und Synchronisations-clienteinheiten, wobei jede Graphikclienteinheit mit einer Synchronisationsclient-einheit verbunden ist.

Die Synchronisationsmastereinheit ist zum Erzeugen einer vierten Nachricht ausgebildet, in der die Speicheradresse einer Szenengraphdatei und/oder die Szenenkennzahl der Szenengraphdatei enthalten ist sowie zum Senden der vierten Nachricht über den zweiten Nachrichtenkanal. Dies erfolgt beispielsweise zu Beginn der Bilddatenberechnung.

Die Synchronisationsclienteinheiten sind ausgebildet zum Empfang der vierten Nachricht und zum anschließenden Veranlassen des Ladens der in der vierten Nachricht definierten Szenengraphdatei in den zweiten Schreiblesespeicher sowie zum Erzeugen und Senden einer fünften Nachricht, die den Abschluss des Ladens der Szenengraphdatei signalisiert, an die Synchronisationsmastereinheit.

Durch die Übermittlung der vierten und fünften Nachricht über den zweiten Nachrichtenkanal werden Graphikmaster und Graphikclient von Kommunikationsprozessen entlastet, die nicht unmittelbar mit der Bildberechnung zu tun haben. Derartige Aufgaben übernehmen die Synchronisationsmaster- und -clienteinheit.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die Synchronisationsmastereinheit bzw. die Synchronisationsclienteinheit zusätzlich ausgebildet zum Erzeugen einer ersten Testnachricht bzw. einer zweiten Testnachricht. Synchronisationsmaster und -client sind bei dieser Ausführungsform weiterhin ausgebildet zum Erzeugen einer ersten Testantwortnachricht nach Empfang der zweiten Testnachricht über den zweiten Nachrichtenkanal bzw. zum Erzeugen einer zwei-

ten Testantwortnachricht nach Empfang der ersten Testnachricht und zum Senden der jeweiligen Test- und Testantwortnachricht über den zweiten Nachrichtenkanal.

Der zweite Nachrichtenkanal (vgl. auch Bezugszeichen 80 in Figur 5) dient zum Aufbau und Aufrechterhalten der Kommunikation zwischen Synchronisations- und Graphikmastereinheit auf der einen und Synchronisations- und Graphikclient auf der anderen Seite, sowie zum Übermitteln von anwendungsspezifischen Kommandos des Graphikmasters, beispielsweise Browserkommandos. Mit der Testnachricht und der Testantwortnachricht wird geprüft, ob eine Kommunikationsverbindung zwischen Master und Clients besteht.

Da der erste und der zweite Nachrichtenkanal zwar logisch unterschiedlich sind, aber über grundsätzlich durch ein und dieselbe physikalische Verbindung (Netzwerkkarten, Netzkabel) realisiert werden können, kann mit dieser Testnachricht das Bestehen einer Kommunikation sowohl auf dem ersten als auch auf dem zweiten Nachrichtenkanal geprüft werden.

Zur Umsetzung der von den Graphikclients berechneten Bilddaten in Steuersignale für ein Bildwiedergabegerät ist bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung, das insbesondere für den Einsatz bei der passiven Stereoprojektion geeignet ist, jeder Graphikclienteinheit je eine Graphikrecheneinheit zugeordnet, die einen Dateneingang für Bilddaten aufweist, über den sie mit der zugeordneten Graphikclienteinheit verbunden ist. Jede Graphikrecheneinheit ist ausgebildet zum Umsetzen am Eingang empfangener Bilddaten in Steuersignale und zum Ausgeben der Steuersignale über einen Signalausgang. An den Signalausgang kann ein Lichtbildprojektor angeschlossen werden. Als Graphikrecheneinheit können beispielsweise handelsübliche PC-Graphikkarten verwendet werden.

Eine weitere Ausführungsform, die für eine Bilddatenberechnung und -ausgabe bei der aktiven Stereoprojektion ausgebildet ist, weist demgegenüber nur geringe Unterschiede auf. Die Graphikclients sind für die aktive Stereo-Projektion zum abwechselnden Berechnen und Ausgeben zunächst eines (Teil-)Bildes für das linke Auge und anschließend eines (Teil-)Bildes für das rechte Auge ausgebildet, die an eine Graphikrecheneinheit ausgegeben werden. Diese steuert den Projektor dem Fluss der eingehenden Bilddaten entsprechend bei der abwechselnden Projektion

eines jeweiligen Teilbildes für das linke und für das rechte Auge. Die Graphikmastereinheit kann grundsätzlich für jedes Teilbild eine neue Update-Nachricht senden, tut dies aber vorzugsweise nur alle zwei Teilbilder, nachdem für jedes Auge vom betreffenden Graphikclient ein Teilbild der aktuellen Szene berechnet und ausgegeben wurde.

Die erforderlichen Parameterwerte einer "Kameraposition" für das linke und für das rechte Auge werden von der Graphikclienteinheit bei der aktiven wie bei der passiven Stereoprojektion anhand der von der Graphikmastereinheit übermittelten Objekt- und Ereignisparameterwerte mit Hilfe einfacher Algorithmen berechnet.

Ein hierzu alternatives Ausführungsbeispiel der Erfindung für die aktive Stereoprojektion verteilt auch bei der aktiven Stereoprojektion die Last der Bilddatenberechnung der Teilbilder für das linke und rechte Augen auf zwei Graphikclienteinheiten pro Projektionsfläche. Dieses Ausführungsbeispiel gleicht in der Struktur von Graphikmaster und -clients dem Ausführungsbeispiel für die passive Stereoprojektion. Jedoch teilen sich zwei Graphikclients eine Graphikrecheneinheit und einen Lichtbildprojektor. Dafür weist diese Ausführungsform zusätzlich eine Teilbildumschalteneinheit für je zwei Graphikclienteinheiten auf. Die Teilbildumschalteneinheit hat einen Signaleingang, über den sie mit einer Schaltsteuereinheit verbindbar ist, mindestens einen ersten und mindestens einem zweiten Bilddateneingang, der je einer Graphikclienteinheit zugeordnet ist, einen ersten und einen zweiten Bilddatenzwischenspeicher, der mit dem ersten bzw. zweiten Bilddateneingang verbunden ist, und einen Bilddatenausgang für jedes Paar von erstem und zweitem Bilddateneingang. Die Teilbildumschalteneinheit ist ausgebildet zum Verbinden entweder des ersten oder des zweiten Bilddatenzwischenspeichers mit dem Bilddatenausgang in Abhängigkeit vom Zustand des Signaleingangs.

Eine Schaltsteuereinheit, die ausgangsseitig mit dem Signaleingang der Teilbildumschalteneinheit verbunden ist, ist ausgebildet zum Erzeugen und Abgeben mindestens eines Steuersignals mit einer vorbestimmbaren Signalabgabefrequenz.

Die Teilbildumschalteneinheit kann je nach Anzahl der zu beleuchtenden Projektionsflächen ausgebildet sein für eine Verbindung mit zwei Graphikclients (eine Projektionsfläche), vier Graphikclients (zwei Projektionsflächen), sechs Graphikclients (drei Projektionsflächen), und so fort. Für jedes Paar Graphikclients ist je ein Paar

von Bilddatenzwischenspeichern vorgesehen. Hierbei kann es sich auch um zwei, vier, sechs, ... Speicherbereiche ein und desselben Speichers handeln. Jedem Paar Bilddatenzwischenspeicher ist je ein Bilddatenausgang zugeordnet.

Die Teilbildumschalteneinheit nimmt die von den Graphikclients gleichzeitig ausgegebenen Bilddaten in den jeweiligen Bilddatenzwischenspeicher auf. Ein Zwischenspeicher eines Speicherpaares enthält also ein Teilbild für das linke Auge, der andere ein Teilbild für das rechte Auge. Diese Teilbilder werden von der Teilbildumschalteneinheit nacheinander ausgegeben.

Hierzu empfängt die Teilbildumschalteneinheit über ihren Signaleingang Steuersignale von der Schaltsteuereinheit. Ein erstes Steuersignal veranlasst die Teilbildumschalteneinheit zur Ausgabe aller Teilbilder für das linke Auge über die zugeordneten Bilddatenausgänge. Ein zweites Steuersignal veranlasst die Teilbildumschalteneinheit zur Ausgabe aller Teilbilder für das rechte Auge über dieselben Bilddatenausgänge.

Die Schaltsteuereinheit sendet ihre Steuersignale mit einer vorbestimmbaren Frequenz, die der Bilderneuerungsrate des Projektors entspricht. Wenn beispielsweise die Teilbilder für das linke und das rechte Auge mit einer Frequenz von 50 Hz erneuert werden sollen, werden das erste und das zweite Steuersignal abwechselnd mit einer Frequenz von jeweils 50 Hz erzeugt. Die Signalabgabefrequenz am Signalausgang der Schaltsteuereinheit ist dann 100 Hz.

Eine Weiterbildung dieses für die Verwendung in einer aktiven Stereoprojektionsanordnung geeigneten Ausführungsbeispiels der Erfindung weist eine Graphikrecheneinheit auf, die mit dem Bilddatenausgang der Teilbildumschalteneinheit verbunden ist. Sind mehrere Bilddatenausgänge an der Teilbildumschalteneinheit vorgesehen, ist jedem Bilddatenausgang je eine Graphikrecheneinheit zugeordnet. Die Graphikrecheneinheit gleicht ansonsten der in der Vorrichtung für eine passive Stereo-Projektion vorgesehenen, weist also einen Signalausgang für Steuersignale zur Steuerung einer Anzeigeeinheit eines Bildwiedergabegerätes auf, und ist zum Umsetzen am Eingang empfangener Bilddaten in Steuersignale und zum Ausgeben der Steuersignale über den Signalausgang ausgebildet.

In einer Weiterführung des Erfindungsgedankens werden die Funktionsmerkmale des Graphikmasters in einem Graphikmastermodul und die Funktionsmerkmale des Graphikclients in einem Graphikclientmodul realisiert, die beispielsweise jeweils als PC-Steckkarte ausgebildet sein können. Die Struktur- und Funktionsmerkmale des Graphikmastermoduls und des Graphikclientmoduls ergeben sich weitgehend aus den oben beschriebenen Merkmalen der Graphikmastereinheit.

Das Graphikmastermodul weist mindestens einen Signaleingang auf, der ausgebildet ist zum Empfang von Signalen eines externen Eingabegeräts. Weiterhin ist eine erste Nachrichtenschnittstelle vorgesehen, die ausgebildet ist zum Senden und Empfangen digital kodierter Nachrichten, und ein erster Schreiblesespeicher zur Aufnahme mindestens einer ersten Szenengraphdatei. Das Graphikmastermodul weist weiterhin Bildparameterberechnungsmittel auf, die mit dem ersten Schreiblesespeicher und dem Signaleingang sowie mit der Nachrichtenschnittstelle verbunden sind und die ausgebildet sind zum Berechnen von Objekt- und/oder Ereignisparameterwerten der ersten Szenengraphdatei in Abhängigkeit von deren aktuellen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerten sowie dem aktuellen Zustand des Signaleingangs. Weiterhin sind Mastersteuermittel vorgesehen, die mit den Bildparameterberechnungsmitteln und der Nachrichtenschnittstelle verbunden sind, und die ausgebildet sind zum Erzeugen und Senden einer ersten Nachricht über die erste Nachrichtenschnittstelle, wobei die erste Nachricht mindestens einen Teil der berechneten Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte enthält.

Bei dem erfindungsgemäßen Graphikmastermodul sind die Funktionsmerkmale der oben beschriebenen Graphikmastereinheit auf zwei Einheiten aufgeteilt. Die Bildparameterberechnungsmittel übernehmen die Aufgaben der Graphikberechnung, die Mastersteuermittel erledigen die Kommunikation mit den Graphikclientmodulen. Hierbei kann es sich um eine rein logische oder um eine auch hardwaremäßige Differenzierung handeln. Die Funktionsmerkmale können wie bei der Graphikmastereinheit in Form implementierter Software oder in Form speziell ausgebildeter ASICs realisiert werden.

Verschiedene Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Graphikmastermodul weisen die zusätzlichen Merkmale der oben beschriebenen Ausführungsbeispielen der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und synchronen Bilddatenausgabe auf. In einer bevorzugten Ausführungsform ist eine Synchronisa-

tionsmastereinheit mit den oben beschriebenen Struktur- und Funktionsmerkmalen vorgesehen.

Das erfindungsgemäße Graphikclientmodul weist eine zweite Nachrichtenschnittstelle auf, die ausgebildet ist zum Senden und Empfangen digital kodierter Daten; einen zweiten Schreiblesespeicher zur Aufnahme mindestens einer zweiten Szenengraphdatei, welche in einem Bild darstellbare Objekte und/oder Ereignisse definiert und den Objekten und/oder Ereignissen Objekt- bzw. Ereignisparameterwerte zuordnet, und einen Bilddatenausgang. Weiterhin sind Bilddatenberechnungsmittel vorgesehen, die mit der zweiten Nachrichtenschnittstelle und dem zweiten Datenspeicher verbunden sind und die ausgebildet sind zum Abspeichern der an der zweiten Nachrichtenschnittstelle empfangenen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte in der zweiten Szenengraphdatei sowie zum Erzeugen von Bilddaten eines Bildes in Abhängigkeit von aktuellen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerten der zweiten Szenengraphdatei, sowie zum Ausgeben der erzeugten Bilddaten am Bilddatenausgang. Die Kommunikation mit einem Graphikmastermodul übernehmen Clientsteuermittel, die mit der Nachrichtenschnittstelle und mit den Bilddatenberechnungsmitteln verbunden sind und die ausgebildet sind zum Erzeugen und Senden einer zweiten Nachricht an die Graphikmastereinheit über die zweite Nachrichtenschnittstelle, die den Abschluss der Bilddatenberechnung des Bildes signalisiert.

Auch das Graphikclientmodul kann die zusätzlichen Merkmalen der Graphikclienteinheit in den oben beschriebenen Ausführungsbeispielen der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und synchronen Bilddatenausgabe aufweisen. Insbesondere kann sie eine Synchronisationsclienteinheit mit den oben beschriebenen Merkmalen aufweisen.

Ein selbstständig schutzwürdiger Erfindungsgedanke betrifft ein Bildumschaltmodul, mit mindestens einem ersten und mindestens einem zweiten Bilddateneingang, jedem Paar von erstem und zweitem Bilddateneingang zugeordnet einem Bilddatenausgang, einem ersten und einem zweiten Bilddatenzwischenspeicher, der dem ersten bzw. dem zweiten Bilddateneingang zugeordnet ist der eingangseitig mit dem ersten bzw. zweiten Bilddateneingang verbunden ist und ausgebildet ist zum Speichern von Bilddaten und zum Ausgeben gespeicherter Bilddaten über den zugeordneten Bilddatenausgang auf ein erstes bzw. zweites Steuersignal

hin. Weiterhin weist das Bildumschaltmodul eine Schaltsteuereinheit auf, die einen Signalausgang hat, über den sie mit dem ersten und dem zweiten Bilddatenzwischenspeicher verbunden ist und die ausgebildet ist zum Erzeugen und Abgeben des ersten und des zweiten Steuersignals in abwechselnder Folge mit einer vorbestimmbaren Signalabgabefrequenz.

Das Bildumschaltmodul integriert die oben beschriebene Teilbildumschalteinheit und Schaltsteuereinheit, die in einer erfindungsgemäßen Vorrichtung Verwendung findet, die bei der aktiven Stereoprojektion eingesetzt wird. Das Bildumschaltmodul kann ebenso wie Graphikmaster- und -clientmodul als Steckkarte realisiert werden. Auch eine Bauform als separates Gerät mit eigener Energieversorgung ist denkbar. Die Signalabgabefrequenz kann von extern eingestellt werden und ist entspricht vorzugsweise der von Graphikmaster und Graphikclient vorgegebenen Bilderneuerungsrate.

Für den Anschluss einer Shutterbrille für einen Betrachter ist die Schaltsteuereinheit in einer bevorzugten Ausführungsform zur zusätzlichen Abgabe des ersten und des zweiten Steuersignals in Form elektromagnetischer Strahlung, insbesondere Infrarotstrahlung, ausgebildet. Auch eine Abgabe von Strahlung geringerer Frequenz für die Funkübertragung ist selbstverständlich möglich und hätte den Vorteil, dass kein Sichtkontakt zwischen dem Betrachter und der Schaltsteuereinheit bestehen muss.

Als weitere, unabhängige Aspekte des Erfindungsgedankens sind Anordnungen zur Erzeugung und Wiedergabe zweier Teillichtbilder, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind, für aktive wie für passive Stereo-Projektion anzusehen.

Eine passive Stereo-Projektion ist realisiert bei einer Anordnung zur Erzeugung und gleichzeitigen Wiedergabe mindestens zweier Teillichtbilder, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind. Diese Vorrichtung weist mindestens eine Streufläche auf, die ausgebildet ist zur polarisationserhaltenden Streuung von Licht in einen Raumbereich, der sich bezüglich auf die Streufläche einfallenden Lichts entweder vor oder hinter der Streufläche erstreckt.

Die Streufläche für eine Rückstreuordnung ist bevorzugt metallisch. Sie kann auf eine Trägerfläche aufgedampft oder als selbsttragende Schicht in Form einer Platte ausgebildet sein. Die Vorwärtsstreuung ist im Gegensatz zur Rückwärtsstreuung nicht notwendigerweise auf eine Fläche, also einen Bereich geringer Erstreckung in Lichteinfallrichtung begrenzt.

Die Anordnung weist zwei einer jeweiligen Streufläche zugeordnete Lichtbildprojektoren als Bildwiedergabegeräte auf, die jeweils einen Steuereingang aufweisen und die ausgebildet sind zum Umsetzen jeweils einer Anzahl am Steuereingang empfangener Steuersignale in jeweils ein aus Lichtbildelementen matrixförmig zusammengesetztes Rasterlichtbild sowie zum Projizieren des jeweiligen Rasterlichtbildes unter Verwendung polarisierten Lichts, wobei die Polarisierung des von den zwei Projektoren jeweils verwendeten Lichts unterschiedlich orientiert ist, und die angeordnet sind zum Projizieren des jeweiligen Rasterlichtbildes auf die zugeordnete Streufläche.

Weiterhin weist die erfindungsgemäße Anordnung eine Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe in einer Ausführungsform auf, die für die passive Stereoprojektion ausgebildet ist. Hierbei ist jedem Lichtbildprojektor zugeordnet je eine Graphikrecheneinheit vorgesehen, wobei der Signalausgang der jeweiligen Graphikrecheneinheit mit dem Steuereingang des jeweiligen Lichtbildprojektors verbunden ist. Weiterhin ist jede Graphikclienteinheit ausgebildet zum Berechnen von Rasterbilddaten eines das Blickfeld des linken oder rechten Auges eines Betrachters wiedergebenden Teilbildes eines durch die aktuellen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte der zweiten Szenengraphdatei definierten Bildes.

Die erfindungsgemäße Anordnung hat gegenüber bekannten Anordnungen den Vorteil, dass sie mit wesentlich einfacheren und kostengünstigeren Bauteilen realisierbar ist. Dies geht zum einen aus der vorstehenden Beschreibung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und synchronen Bilddatenausgabe hervor. Zum anderen können für die erfindungsgemäße Anordnung vergleichsweise günstige Lichtbildprojektoren, also beispielsweise LCD (Liquid Crystal Display) oder DLP (Digital Light Projection)-Projektoren verwendet werden. Als Lichtbild wird in diesem Zusammenhang ein projiziertes Bild verstanden. Die Verwendung von CRT-Projektoren ist auch möglich, hat aber den Nachteil, das

dieser Projektortyp wesentlich teurer und allein für eine aktive Stereoprojektion geeignet ist.

Die Lichtbildprojektoren können in zweit alternativen Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Anordnung so angeordnet sein, dass sie die Teilbilder aus Sicht des Betrachters entweder von vorn oder von hinten auf die Streufläche abbilden. Für die Beleuchtung von hinten, das heißt bei Vorwärtsstreuung durch die Streufläche, sind speziell ausgebildete Streuwände erhältlich. Die aus Sicht eines Betrachters erfolgende Anordnung der Lichtbildprojektoren hinter der Streufläche bei dieser Ausführungsform hat zwar den Nachteil, dass insgesamt mehr Raum für die Anordnung benötigt wird. Auch sind Streuwände für die Vorwärtsstreuung aufwändiger in der Herstellung. Dafür können jedoch auch Boden und Decke ebenfalls als Streufläche ausgebildet werden. Dies ist bei einer Anordnung der Projektoren auf der Seite des Betrachters nicht möglich, da es sich nicht vermeiden lässt, dass der Betrachter einen Schatten auf Boden oder Decke wirft und damit die Bildprojektion stört.

Die Projektoren weisen der Einfachheit halber in einer Ausführungsform der Erfindung je einen Polarisator auf. Die Polarisatoren der Projektoren für das linke und rechte Auge des Betrachters sind für linear polarisiertes Licht mit vorzugsweise senkrecht zu einander stehenden Schwingungsrichtungen durchlässig. Auf diese Weise ist ein optimaler Kontrast zwischen den Teilbildern für das linke und das rechte Auge erzielbar. Alternativ können auch Filteranordnungen zur Projektion rechts- bzw. linkselliptischen oder rechts bzw. linkszirkular polarisierten Lichts verwendet werden.

Für den Betrachter ist eine ausgebildete Analysatorbrille vorgesehen, deren Gläser für Licht mit jeweils einer der von den Lichtbildprojektoren vorgegebenen Polarisierung durchlässig sind. Dabei ist die Zuordnung von projiziertem Teilbild zum Auge bei der Anordnung der Filter in der Brille berücksichtigt.

Ein weiterer Aspekt des Erfindungsgedankens mit selbständiger Schutzwürdigkeit betrifft eine Anordnung für eine aktive Stereoprojektion, die zur Erzeugung und zeitlich nacheinander erfolgenden Wiedergabe mindestens zweier Teillichtbilder ausgebildet ist, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind. Diese erfindungsgemäße Anordnung weist mindestens eine Streufläche auf, die

ausgebildet ist zur Streuung von Licht in einen Raumbereich, der sich bezüglich auf die Streufläche einfallenden Lichts entweder vor oder hinter der Streufläche erstreckt.

Die Anforderungen an die Streufläche sind bei der aktiven Stereoprojektion geringer, da die Polarisierung des gestreuten Lichts nicht erhalten sein muss. So können herkömmliche Leinwände oder auf Glas oder Kunststoff basierende Streuwände verwendet werden.

Im Gegensatz zur Anordnung für die passive Stereoprojektion genügt bei der vorliegenden Anordnung ein einer jeweiligen Streufläche zugeordneten Lichtbildprojektor als Bildwiedergabegerät, der ansonsten genauso ausgebildet sein kann wie oben beschrieben. Es können jedoch auch mehrere Projektoren verwendet werden, beispielsweise wenn Bilder für unterschiedliche Betrachterpositionen projiziert werden sollen.

Als weiterer Unterschied zur Anordnung für die passive Stereoprojektion ist hier eine Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe vorgesehen, die wie oben beschrieben den Erfordernissen der aktiven Stereoprojektion entsprechend ausgebildet ist. Hierbei weist sie jedem Lichtbildprojektor zugeordnet eine erste und eine zweite Graphikclienteinheit (98) auf, wobei der Bilddatenausgang der jeweiligen Graphikclienteinheit mit dem ersten bzw. zweiten Bilddateneingang der Teilbildumschalteneinheit verbunden ist. Weiterhin ist die erste bzw. zweite Graphikclienteinheit ausgebildet zum Berechnen von Rasterbilddaten eines das Blickfeld des linken bzw. rechten Auges eines Betrachters wiedergebenden Teilbildes eines durch die aktuellen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte der zweiten Szenengraphdatei definierten Bildes.

Gemäß einem weiteren Erfindungsgedanken mit selbständiger Schutzwürdigkeit wird für die Bildwiedergabe eine Vorrichtung zur Bildwiedergabe durch Rückstreuung von Licht verwendet, mit einer ersten und einer zweiten ebenen Streufläche, wobei die von den Streuflächen aufgespannten Ebenen einen Winkel einschließen, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und zweite Streufläche mit einander zugewandten Rändern an eine dritte ebene Streufläche angrenzen derart, dass die dritte Streufläche an die erste und zweite Streufläche jeweils unter stumpfen Win-

kel anschließt und dass die Schnittgeraden der von den drei Streuflächen aufgespannten Ebenen parallel zueinander verlaufen.

Das Einfügen einer dritten Streufläche, die an beiden Enden ihrer Breitenerstreckung unter stumpfem Winkel an die jeweils benachbarte Streuflächen anschließt, hat den Vorteil, dass unerwünschte, für den Betrachter sichtbare Lichtstreuung von der ersten auf die zweite Streufläche im Eckbereich vermieden wird. Dieser Effekt tritt besonders bei Anordnungen in Erscheinung, bei denen die erste und zweite Ebene einen stumpfen oder rechten Winkel einschließen.

Vorzugsweise weist die dritte Streufläche eine Breitenerstreckung von mindestens 60 cm aufweist. Bei geringerer Breitenerstreckung reicht der Abstand zwischen der ersten und zweiten Streufläche im Eckbereich nicht aus, um die störende Streuung völlig unsichtbar zu machen. Bei einer derzeit realisierten Ausführungsform weist die Streufläche eine Breitenerstreckung von 80cm auf und schließt jeweils unter 130 Grad an die erste und zweite Streufläche an.

Bei dieser Anordnung ist dass Graphikclienteinheit ausgebildet ist zur Berechnung und Ausgabe jeweils zweier Teilbildteile derart, dass ein erster Teilbildteil auf der ersten oder zweiten Projektionsfläche verzerrungsfrei erscheint und dass ein zweiter Teilbildteil auf der dritten Projektionsfläche verzerrungsfrei erscheint ("Remapping"). Zur Kompensation der Bildprojektion unter schrägem Lichteinfall auf die dritte Streufläche werden bei dieser Ausführungsform die im zweiten Teilbildteil dargestellten Strukturen unter Berücksichtigung des Winkels der Streuflächen rechnerisch gedreht. Weiterhin fließt die Position des Projektors relativ zur dritten Streuwand in das Remapping ein. Werden die Teilbildteile auf die jeweilige Streufläche projiziert, ist der Winkel zwischen den Streuwänden nicht wahrnehmbar.

Bei einer anderen Ausführungsform ist eine Erweiterung der zuletzt beschriebenen Graphikclientfunktionalität auf die Berechnung von mehr als zwei Teilbildteilen implementiert. Damit können beispielsweise in beengten Raumverhältnissen mehrere unter stumpfem Winkel zueinander stehende Streuwände mit geringer Breitenerstreckung von einem Projektorpaar beleuchtet werden.

Weitere Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung erläutert. Darin zeigen:

- Figur 1 eine vereinfachte Skizze eines ersten Ausführungsbeispiels einer Anordnung zur Erzeugung und Wiedergabe zweier Teillichtbilder, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind,
- Figur 2 eine Prinzipskizze zur Veranschaulichung der Lichtstreuung zwischen rechtwinklig aneinander grenzenden Bildschirmen
- Figur 3 eine vereinfachte Skizze eines zweiten Ausführungsbeispiels Anordnung zur Erzeugung und Wiedergabe zweier Teillichtbilder, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind,
- Figur 4 ein Beispiel für eine Bilddarstellung mit Hilfe des zweiten Ausführungsbeispiels,
- Figur 5 ein vereinfachtes Blockdiagramm eines ersten Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe, wie sie bei der Anordnung der Figur 1 verwendet werden kann,
- Figur 6 ein vereinfachtes Blockdiagramm eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe, das insbesondere für den Einsatz bei der aktiven Stereo-Projektion vorgesehen ist,
- Figur 7 ein Flussdiagramm, dass die Verfahrensschritte beim Laden einer Szenengraphdatei darstellt und
- Figur 8 ein Flussdiagramm eines Verfahrens zur Synchronisierung der Bilddarstellung und Figur 9 ein Flussdiagramm eines alternativen Verfahrens zur Synchronisierung der Bilddarstellung.

Figur 1 zeigt eine vereinfachte Draufsicht eines ersten Ausführungsbeispiels einer Anordnung zur räumlichen Visualisierung. Die Anordnung ist für die Stereo-Projektion aus Richtung des Betrachters (Front-Projektion) ausgelegt. Der Stereo-Effekt

wird passiv erzeugt und kann mit einer Polarisationsfilter-Brille wahrgenommen werden.

Diese Anordnung weist zwei rechtwinklig aufgestellte Leinwände 10 und 12, vier Projektoren 14 bis 20 und ein Graphikrechnersystem von 5 miteinander vernetzten Rechnern 22 bis 30 auf. Die Netzwerkverbindung zwischen den Rechnern 22 bis 30 ist durch Doppelpfeile 32 angedeutet.

Die Leinwände 10 und 12 (im folgenden auch Streuwände genannt) sind im rechten Winkel β zueinander aufgestellt und grenzen ohne Spalt unmittelbar aneinander an. Sie können im Bereich des Winkels β fest oder lösbar miteinander verbunden sein. Die lose Aufstellung hat den Vorteil, dass die Wände zu Experimentierzwecken beliebig neu zueinander positioniert werden können. So kann beispielsweise der Winkel β zwischen den Leinwänden verändert werden. Aber auch durch Verwendung geeigneter Verbindungselemente wie Scharnieren kann erreicht werden, dass die Leinwände gegeneinander verschwenkbar sind, um einen beliebigen Winkel β zwischen ihnen einzustellen. Bei Installationen, die großem Publikumsverkehr ausgesetzt sind, ist jedoch eine feste Verbindung der Leinwände ohne Verschwenkmöglichkeit vorteilhaft, um bei Berührung ein Verrücken der Leinwände relativ zueinander zu vermeiden.

Die Streuwände werden bevorzugt in einem Winkel β zwischen 90 und 180 Grad aufgestellt, weil auf diese Weise der Betrachter außerhalb der von den Projektoren 14 bis 20 erzeugten Lichtkegel 34 und 36 steht und keinen Schatten wirft. Grundsätzlich ist jedoch auch eine Anordnung mit einem spitzen Winkel möglich.

Im vorliegenden Beispiel weisen die Leinwände 10 und 12 auf ihren den Projektoren 14 bis 20 zugewandten Seiten polarisationserhaltende Streuflächen 38 und 40 auf, wie sie für die 3D-Darstellung üblich sind. Die Streuflächen 38 und 40 sind hierfür aus Metall gefertigt. Das auf die Streuflächen projizierte Licht von diesen in den gesamten ihnen zugewandten Halbraum zurückgeworfen, ohne die Polarisationsrichtung des einfallenden Lichtes zu ändern. Auf diese Weise erreicht einen Betrachter an verschiedenen Positionen vor den Streuwänden polarisationserhaltend gestreutes Licht von allen Abschnitten der Streuflächen 38 und 40, die von den Projektoren 14 bis 20 beleuchtet werden.

Die Streuflächen 38 und 40 können als ein- oder mehrteilige Metallschicht ausgebildet sein, die auf einen Träger aufgebracht ist. Der Träger kann beispielsweise aus Kunststoff gefertigt sein. Alternativ kann die gesamte Streuwand 10 oder 12 aus Metall gefertigt sein.

Die Streuflächen 38 und 40 sind eben. Werden durchgängig oder abschnittsweise gekrümmte Streuflächen verwendet, kann der dadurch verursachte Eindruck einer Bildverzerrung durch eine rechnerische Anpassung der projizierten Szene korrigiert werden.

Die Ausmaße der Streuwände 10 und 12 sind im vorliegenden Ausführungsbeispiel (Breite x Höhe) 3,30m x 2,50m. Es werden Streuwände des Modells "Miracle 3D silverscreen" verwendet. Bei der vorliegenden Anordnung ist der Raumbedarf auf (Breite x Tiefe x Höhe) 5 x 5 x 2,5 m³ begrenzt.

Jeder Leinwand 10 und 12 sind zwei Projektoren 14 und 16 bzw. 18 und 20 zugeordnet. Die folgende Beschreibung beschränkt sich auf die Anordnung der Projektoren 14 und 16 relativ zur Leinwand 10. Die Anordnung der Projektoren 18 und 20 relativ zur Leinwand 12 ist analog. Die Projektoren 14 und 16 sind so angeordnet und eingerichtet, dass sie Lichtbilder mit auf der Streufläche 38 identischen Ausmaßen projizieren. Die Lichtbilder decken die Streufläche 38 bis exakt zu ihrem rechten Rand ab, wo die Streufläche 38 an die Streufläche 40 der Leinwand 12 grenzt. Beide Projektoren sind in gleichem Abstand zur Streufläche und etwa mittig bezüglich ihrer Breitenerstreckung angeordnet.

Die Darstellung der Projektoren in Figur 1 mit unterschiedlichen Konturen entspricht nicht ihren jeweiligen tatsächlichen Ausmaßen, sondern dient allein der Sichtbarmachung beider Projektoren in der gewählten Draufsichtdarstellung.

Die Projektoren können auf einem Stativ oder an einem an der Raumdecke befestigten Träger unter der Decke hängend angeordnet werden. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind beide Projektoren 14 und 16 unter der Decke hängend angeordnet.

Zur präzisen Ausrichtung der Projektoren sind sie unabhängig von einander parallel zur Breitenerstreckung der Leinwand 10 und in Abstandsrichtung relativ zur

Leinwand verschiebbar befestigt. Zusätzlich sind die Projektoren jeweils um eine vertikale Achse und um eine senkrecht zur Flächennormalen der Streuflächen stehende horizontale Achse schwenkbar.

Beide Projektoren sind handelsübliche LCD-, DMD- oder DLP- Projektoren. Beispielsweise kann das Modell MP8750 von ... verwendet werden. Die Lichtleistung beträgt 1300 ANSI lumen, die Auflösung 1024 x 768 Pixel. Die verwendeten Projektoren weisen eine Bildkorrektureinheit auf, die trapezförmige Bildverzerrungen auf der Streufläche aufgrund schrägen Lichteinfalls ausgleicht.

Den Projektionslinsen der Projektoren 14 und 16 (ebenso wie 18 und 20) vor- oder nachgeschaltet sind hier nicht dargestellte Polarisationsfilter. Die Polarisationsfilter der Projektoren 14 und 16 lassen Licht in unterschiedlichen Polarisationsrichtungen durchtreten. Beispielsweise lässt der Polarisationsfilter des Projektors 14 linear polarisiertes Licht durchtreten, dessen elektrischer Feldvektor auf der Streufläche in horizontaler Richtung, also parallel zur Zeichenebene der Figur 1 schwingt. Der Polarisationsfilter des Projektors 16 lässt in diesem Fall linear polarisiertes Licht durch, dessen elektrischer Feldvektor auf der Streufläche in vertikaler Richtung, also senkrecht zur Zeichenebene schwingt.

Das Licht der Projektoren, die jeweils das Bild für das linke Auge auf die Leinwände 10 und 12 werfen, vorliegend beispielsweise das Licht der Projektoren 14 und 18, weist dieselbe Polarisationsrichtung (horizontal) auf. Dasselbe gilt für das Licht der Projektoren 16 und 20, das vertikal polarisiert ist. Der Betrachter trägt dementsprechend eine Brille, die links nur horizontal und rechts nur vertikal polarisiertes Licht durchtreten lässt.

Alternativ können die Polarisationsfilter der Projektoren 14 und 16 auch links- bzw. rechtszirkular polarisiertes Licht durchlassen. In diesem Fall müsste die Brille des Betrachters ebenfalls mit entsprechenden Polarisationsfiltern für links- und rechtszirkular polarisiertes Licht für das linke bzw. rechte Auge ausgestattet sein.

Jedem Projektor ist einer der Graphikrechner (Client) 22 bis 28 zugeordnet. Die Graphikrechner sind herkömmlich ausgestattete Personal Computer (PC). Eine typische Ausstattung weist unter anderem beispielsweise folgende Bauteile auf:

1 Prozessor vom Typ AMD Athlon, getaktet mit 900 MHz,

512 MByte Arbeitsspeicher (RAM),
1 Graphikkarte GeForce2 GTS mit 64 MByte DDR RAM
100Mbit/s Ethernet-Netzwerkkarte

Eine Festplatte kann zum lokalen Booten der Clients 22 bis 28 vorgesehen sein, ist aber grundsätzlich nicht erforderlich, da die Clients mit Hilfe eines nachfolgend beschriebenen Masterrechners 30 auch über das Netzwerk gebootet werden können.

Jeder Projektor 14 bis 20 ist an den Ausgang der Graphikkarte des zugeordneten Graphikrechners 22 bis 28 angeschlossen.

Zusätzlich zu den Graphikrechnern 22 bis 28 ist ein Masterrechner (Master) 30 vorgesehen. Der Masterrechner ist ebenfalls ein PC, dessen Hardware-Ausstattung mit der der Graphikrechner 22 bis 28 übereinstimmt, was die oben genannten Bauteile betrifft. Zusätzlich weist der Masterrechner 30 eine Festplatte auf. Weiterhin ist er ausgerüstet für den Anschluss und den Betrieb eines Monitors 42, einer Maus 44 und einer Tastatur 46. Weitere Eingabegeräte sind an den Master 30 - auch schnurlos, beispielsweise über eine Infrarot- oder Funkchnittstelle - anschließbar und in Figur 1 durch einen Block 48 symbolisiert. Hierbei handelt es sich beispielsweise um eine schnurlose Gyroskop-Maus. Ein alternatives Eingabegerät 48 ist ein Datenhandschuh, dessen Ausgangssignale dem Master 30 Informationen über Bewegungen und Stellung der Finger einer Hand liefern. Als Eingabegerät 48 kann auch ein Tracking-Device vorgesehen sein, das mit Hilfe elektrooptischer Sensoren Signale erzeugt, die von der Position und Blickrichtung der Augen eines Betrachters abhängen, und diese Signale an den Master 30 ausgibt. Auch ein Walking-Device kann verwendet werden. Schließlich ist auch ein Mikrofon als Eingabegerät vorgesehen. Mit Hilfe eines in den Master integrierten Spracherkennungssystems können Befehle des Betrachters interpretiert und der Neuberechnung der Felder der aktuell geladenen Szenengraphdatei zugrunde gelegt werden. Die genannten Eingabegeräte können je nach Anwendung alternativ oder in Kombination vorgesehen sein.

Die Graphikrechner 22 bis 28 und der Master 30 sind untereinander über Standard 100Mbit/s Ethernet-Netzwerkkarten und Netzkabel verbunden. Sie arbeiten mit einem Windows 95/98/NT oder Windows 2000-Betriebssystem (Networking,

Threads), einem OpenGL client (GLUT windows handling, Portable C++) und einer UDP-Netzwerkschicht, die eine geringe Latenzzeit von weniger als 1 ms erlaubt.

In Figur 1 nicht dargestellt ist das verwendete Surround-Sound-System, das einen Verstärker (Yamaha DSP-A595 mit vier Kanälen), 4 Lautsprecher und 2 Subwoofer in üblicher Anordnung aufweist.

Bei der in Figur 1 dargestellten Anordnung werfen die Projektoren 14 und 18 horizontal polarisierte Lichtbilder einer Szene auf die Streuflächen 38 und 40, wie sie das linke Auge eines Betrachters an einer definierten Position relativ zur Szene wahrnehmen würde. Diese Position entspricht in der Anordnung der Figur 1 der mit "P" gekennzeichneten Position. Die zwei Bilder der Projektoren 14 und 18 für das linke Auge sind unterschiedlich. Sie stellen die linke und rechte Hälfte des Gesichtsfeldes des linken Auges dar und ergänzen sich daher zum gesamten Gesichtsfeld des linken Auges an der definierten Betrachterposition. Analoges gilt für die Projektoren 16 und 20. Die Projektoren 16 und 20 werfen vertikal polarisierte Lichtbilder derselben Szene auf die Streuflächen 38 und 40, wie sie das rechte Auge eines Betrachters an der definierten Position wahrnehmen würde. Der Projektor 16 wirft die linke Hälfte des Gesichtsfeldes des rechten Auges auf die Leinwand 10, der Projektor 20 die rechte Hälfte des Gesichtsfeldes des rechten Auges auf die Leinwand 12. Beide Bilder ergänzen sich zum gesamten Gesichtsfeld des rechten Auges an der definierten Betrachterposition.

Für einen Betrachter, der sich in der Anordnung der Figur 1 auf der Position P befindet und der eine Brille trägt, deren linkes Glas nur horizontal polarisiertes und deren rechtes Glas nur vertikal polarisiertes Licht durchlässt, entsprechen die jeweils projizierten Lichtbilder den Wahrnehmungsverhältnissen beim räumlichen Sehen in der Wirklichkeit. Bei diesem Betrachter entsteht daher ein räumlicher Eindruck von der dargestellten Szene. Dieser räumliche Eindruck wird durch die Abdeckung eines großen Gesichtsfeldes auf den in rechtwinkliger Anordnung stehenden 2,50m hohen und 3,30m breiten Leinwänden besonders stark ausgeprägt.

Die dargestellte Szene wird mit einer Erneuerungsrate von ca. 50 Hz aktualisiert. Dabei kann dem Betrachter beispielsweise der Eindruck vermittelt werden, einzelne Teile der Szene würden sich im Raum bewegen oder aber, der Betrachter würde sich relativ zur Szene bewegen. Durch das Eingabegerät 48 ist der Betrachter

auch in der Lage, selbst Einfluss auf die Entwicklung der dargestellten Szene zu nehmen. Mit einer Gyroskop-Maus kann er beispielsweise die scheinbare Betrachtterposition relativ zur Szene verändern und gewinnt so den Eindruck, sich selbst schwebend, oder bei Verwendung eines Walking-Devices auch gehend, durch die Szene zu bewegen.

Höhere Bilderneuerungsraten als 50 Hz ändern nicht die ablaufenden, weiter unten dargestellten Bildberechnungs- und Projektionssteuerungsprozesse, sondern lediglich die Wiederholfrequenz, mit der sie ablaufen. Die höchst mögliche Erneuerungsrate ist allein eine Frage der Hardwareausstattung der PCs 22 bis 30 und der Projektoren. Die Entwicklung der Hardware geht mit großen Schritten hin zu leistungsfähigeren, schnelleren Prozessoren. Auch eine Erneuerungsrate von 100 Hz, die aus wahrnehmungsphysiologischer Sicht besonders günstig ist, ist mit derzeit erhältlicher Hardware mit verhältnismäßig geringem Kostenaufwand zu realisieren.

Wichtig für die Erzielung des räumlichen Eindrucks von der Szene ist die synchrone Projektion aller vier jeweils aktuellen Teilbilder der Szene. Die auf den PCs 22 bis 30 ablaufenden Bildberechnungs-, Steuer-, und Signalisierungsprozesse werden bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel durch ein Master/Client-System synchronisiert, das weiter unten anhand von Figur 5 im einzelnen dargestellt ist.

Figur 2 zeigt einen Ausschnitt der Anordnung aus Figur 1. Er umfasst die Leinwände 10 und 12, die Projektoren 14 bis 20 und die von ihnen erzeugten Lichtkegel 34 und 36. Anhand des Lichtkegels 36 wird im folgenden das Problem der Zweifachstreuung von Lichtstrahlen an den Streuflächen 10 und 12 erläutert.

Neben gestrichelt gezeichneten Randstrahlen 36a und 36b des Lichtkegels 36 ist ein weiterer Lichtstrahl 36c wiedergegeben, der vom Projektor 18 oder 20 ausgehend die Streufläche 40 der Leinwand 12 an einer Stelle S1 nahe ihrem linken Rand trifft, an dem die Streufläche 38 unter rechtem Winkel anschließt. Die Rückstreuung des dem Strahl 36c folgenden Lichts an der Streufläche 40 erfolgt in einen großen Winkelbereich und weist ein Intensitätsmaximum in einem Winkel auf, der dem Reflexionsgesetz folgend gleich dem Einfallswinkel des Strahls 36c auf die Streufläche 38 ist. Ein großer Teil des durch den Strahl 36c einfallenden Lichts folgt daher nach der Streuung an der Streufläche 40 einem Strahl 36c' und fällt so an einer Stelle S2 auf die Streufläche 38. Von dort gelangt, denselben Gesetzen

gehorchend, wiederum ein Teil des Lichtes dem Strahl 36c" folgend zum Betrachter an der Position P. Störend für den Betrachter überlagert dieses Streulicht des Strahls 36c" das von der Stelle S2 in seine Richtung gestreute Licht des Bildes, das der Projektor 14 oder 16 auf die Leinwand 10 wirft. Dieser Störeffekt macht sich im Eckbereich der beiden Streuflächen bemerkbar. Er beeinträchtigt den angestrebten räumlichen Bildeindruck.

Figur 3 zeigt als Lösung dieses Problems ein zweites Ausführungsbeispiel einer Anordnung zur räumlichen Visualisierung in einer vereinfachten Draufsicht. In vielen Merkmalen gleicht der Aufbau dieser Anordnung dem des Ausführungsbeispiels der Figur 1. Für gegenüber dem ersten Ausführungsbeispiele gleiche Bestandteile der vorliegenden Anordnung werden daher gleiche Bezugszeichen verwendet. Die nachfolgende Beschreibung konzentriert sich auf die Unterschiede zum ersten Ausführungsbeispiel.

Zur Vermeidung einer störenden Zweifachstreuung im Eckbereich weist die vorliegende Anordnung zwischen zwei Leinwänden 50 und 52 eine dritte Leinwand 54 auf, die unter stumpfen Winkeln γ_1 (Gamma1) und γ_2 (Gamma2) an die Leinwände 50 bzw. 52 anschließt. Durch den Anschluss der Leinwände aneinander unter stumpfem Winkel wird vermieden, dass große Teile des in den Eckbereichen der Leinwände gestreuten Lichts auf die jeweils angrenzende Leinwand gestreut werden und von dort zum Betrachter gelangen. Zur Vermeidung der Mehrfachstreuung sollten die Winkel Gamma 1 und Gamma 2 mehr als 110 Grad betragen. Als optimal wird eine Anordnung betrachtet, bei der beide Winkel 135 Grad betragen. Die Leinwand 54 sollte eine Breitenerstreckung von mindestens 60 cm aufweisen, um auch eine störende Zweifachstreuung zwischen den Leinwänden 50 und 52 effektiv zu unterdrücken.

Die Leinwand 54 weist im vorliegenden Ausführungsbeispiel eine geringere Breitenerstreckung auf als die Leinwände 50 und 52, aber dieselbe Höhe. Eine größere Breitenerstreckung der Leinwände 50 und 52 ist grundsätzlich nicht notwendig, um die Zweifachstreuung zu vermeiden. Sie ermöglicht jedoch die Abdeckung eines größeren Gesichtsfeldes eines Betrachters an der Position P. Die Leinwände 50 und 52 sind hier ca. 3,30m breit und 2,50m hoch. Die Leinwand 54 ist ca. 0,80m breit und 2,50 m hoch. Ansonsten ist sie grundsätzlich gleich gebaut wie die Lein-

wände 10 und 12 aus Figur 1. Auch hinsichtlich der Verbindung der Wände 50, 52 und 54 gilt das zur Anordnung der Figur 1 Gesagte analog.

Bei der Anordnung der Figur 3 werden von den Projektoren 14 und 16 jeweils zwei Teilbilder projiziert. Ein erstes Teilbild mit Randstrahlen 58 und 60 bedeckt die Leinwand 50, ein zweites Teilbild mit Randstrahlen 60 und 62 die Leinwand 54 von ihrem linken Rand, an dem sie an die Leinwand 50 anschließt, bis zu einer Position M auf der Leinwand 54. Ebenso werden von den Projektoren 18 und 20 jeweils zwei Teilbilder projiziert. Ein erstes Teilbild mit Randstrahlen 66 und 68 bedeckt die Leinwand 52 und ein zweites Teilbild mit Randstrahlen 68 und 70 die Leinwand 54 von ihrem rechten Rand, wo sie an die Leinwand 52 anschließt, bis zur Position M. An der Position M grenzen also die jeweiligen zweiten Teilbilder der Projektoren 14 bis 20 aneinander. Durch eine entsprechende Justierung der Projektoren ist gewährleistet, dass die Bilder nahtlos aneinander grenzen.

Die Position M liegt im vorliegenden Beispiel in der Mitte der Breitenerstreckung der Leinwand 54. Sie kann grundsätzlich an jeder Position bezüglich der Breitenerstreckung vorgesehen sein. Eine unsymmetrische Anordnung hat jedoch unter anderem den Nachteil, dass die den Projektoren 14 bis 20 zugeordneten Graphikrechner unterschiedlich große Bildfelder zu berechnen haben. Mit der Größe der zu berechnenden Bildfelder wächst auch die zur Bildberechnung benötigte Zeit. Durch eine unsymmetrische Bildfeldverteilung würden also zwei Graphikrechner entlastet, zwei andere aber zusätzlich belastet. Da der die Bildberechnungsprozess, der die längste Zeit in Anspruch nimmt, die maximale Bilderneuerungsrate bestimmt, wie unten näher erläutert wird, begünstigt die symmetrische Aufteilung der zweiten Teilbilder auf der Leinwand 54 eine hohe Bilderneuerungsrate.

Die Winkel γ_1 und γ_2 können unterschiedlich sein. Im vorliegenden Fall sind sie jedoch gleich und betragen 135 Grad. Ein Betrachter an der Position P schaut frontal auf die Streuwand 54. Die Winkel γ_1 und γ_2 sind bei der Berechnung der auf die Leinwände 50, 52 und 54 zu projizierenden Lichtbilder zu berücksichtigen, wie unten anhand von Figur 4 näher erläutert wird. Wären die Winkel γ_1 und γ_2 unterschiedlich, hätten wiederum die Graphikrechner 26 und 28 für die Berechnung der ersten und zweiten Teilbilder auf den Leinwänden 52 und 54 andere Bildberechnungsprozesse abzuarbeiten als die Graphikrechner 24 und 24 für die Teilbilder auf den Leinwänden 50 und 54. Die dadurch mögliche unsymmetrische Be-

lastung der Graphikrechner könnte, wie auch im letzten Absatz beschrieben, die Geschwindigkeit des Systems beeinträchtigen. Daher wird eine Anordnung der Leinwände 50 bis 54 mit gleichen Winkeln γ_1 und γ_2 bevorzugt.

Figur 4 zeigt eine Skizze eines Lichtbildes 72, das vom Projektor 18 auf die Leinwand 52 sowie die rechte Hälfte der Leinwand 54 zwischen der Position M und ihrem rechten Rand geworfen wird. Das Lichtbild 72 ist in zwei Teilbilder (Viewports) unterteilt, ein Hauptbild 74 und ein Randbild 76. Das Hauptbild 74 ist so bemessen, dass es die Streufläche der Leinwand 52 bis zu ihrem linken Rand ausleuchtet, an dem sie an die Leinwand 54 grenzt. Das Randbild 76 ist so bemessen, dass es die rechte Hälfte der Streufläche der Leinwand 54 zwischen der Position M und ihrem rechten Rand ausleuchtet, an dem sie an die Leinwand 52 grenzt.

Beide Teilbilder stellen unterschiedliche Ausschnitte einer Szene dar. Die Szene enthält einen mit einem Linienraster versehenen Boden 78. Im Hauptbild verläuft ein Teil der Linien, beispielsweise eine Linie L1 des Linienrasters parallel zur Unterkante des Lichtbildes 32. Ein zweiter Teil der Linien, beispielsweise die Linien L2 und L3, läuft auf einen gemeinsamen Fluchtpunkt F zu, wie es in der zweidimensionalen Darstellung räumlicher Szenen zur Erweckung des Tiefeneindrucks üblich ist. Auch im Nebenbild 76 ist der Boden 78 dargestellt. Linien L4 und L5 des Linienrasters verlaufen im Nebenbild 76 jedoch unter einem Winkel zu den entsprechenden Linien L1 und L2. Insbesondere verläuft die Linie L4 nicht parallel zur Unterkante des Bildes. Der Winkel δ (delta) ist so gewählt, dass für einen Betrachter der des gesamten Lichtbildes 72 auf den Leinwänden 52 und 54 (Figur 3) der Eindruck entsteht, die Linien L1 und L4 bildeten eine durchgehende, parallel zur Bildunterkante verlaufende Gerade. Auch in der Szene scheinbar in die Tiefe führende Linien L5 und L6 im Nebenbild 76 verlaufen in der Zeichenebene der Figur 4 auf einen anderen Fluchtpunkt F' zu. Jedoch entsteht beim Betrachter des auf die Leinwände 52 und 54 projizierten Bildes der Eindruck, die Linien würden ebenfalls auf den Fluchtpunkt F zu laufen.

Der Winkel δ (delta) und die Lage des Fluchtpunktes F', die in die Berechnung des Randbildes 76 eingehen, sind vom Winkel γ_2 (Gamma2) abhängig, mit dem die Leinwände 52 und 54 aneinander anschließen. Weiterhin hängen sie von der Ausrichtung des Projektors 18 bzw. 20 relativ zur Streufläche 52 (oder 54) ab. Im Ausführungsbeispiel der Figur 3 sind die Projektoren 18 und 20 so ausgerichtet, dass

die optische Achse des Projektorobjektivs und die Flächennormale der (ebenen) Streufläche 52 in der Projektion auf die Zeichenebene parallel verlaufen.

Vor der Darstellung der Struktur des Graphikrechensystems, das in den Ausführungsbeispielen der Figuren 1 und 3 mit den untereinander vernetzten PCs 22 bis 30 realisiert wird, wird nachfolgend zunächst auf den in diesem Zusammenhang zentralen Begriff der Szenengraphdatei eingegangen.

Mit dem Begriff Szenengraphdatei wird auf den unter anderem aus dem Dateiformat VRML (Virtual Reality Modeling Language) bekannten Begriff des Szenengraphen Bezug genommen.

Ein Szenengraph dient zur Beschreibung einer dreidimensionalen (3D-) Szene. Die logische Struktur eines Szenengraphen ist eine Baumstruktur. Verzweigungspunkte dieser Baumstruktur heißen "Knoten" (Nodes). Der Ursprung der Baumstruktur ist "die Welt". Diese zergliedert sich beispielsweise in Knoten mit den Namen "Haus", "Baum" oder "Straße". Jeder dieser Knoten kann eine Anzahl Unterknoten aufweisen. So kann der Knoten "Haus" beispielsweise die Unterknoten "Zimmer1", "Zimmer2" etc. aufweisen. Ein Knoten besteht aus einem oder mehreren Feldern (Fields), die einen bestimmten Wert enthalten und somit den Zustand des Knotens beschreiben. Die in den Knoten enthaltenen Felder sind stets mit Standardwerten versehen, so dass man nur bei Abweichungen den Feldwert neu belegen muss.

Interaktion und Animation werden in der VRML-Welt durch "Ereignisse" (Events) beschrieben, die auf Knoten einwirken und entsprechend Feldinhalte und somit auch den Knotenzustand verändern.

Es sind unterschiedliche Arten von Knoten bekannt. Dazu gehören

a) Graphische Primitiven

Zu diesen zählen beispielsweise Dreiecke, Kugeln, Lichtquellen, Materialien und Texturen.

b) Kontrollknoten

Zu diesen zählen beispielsweise Transform-Knoten, Switch-Knoten oder Interpolationsknoten. Mit Transform-Knoten werden alle untergeordneten Knoten im

Raum verschoben, skaliert und gedreht. Mit Hilfe von Switch-Knoten kann die Anzeige auf einen Unterbaum eines Szenengraphs beschränkt werden. Interpolationsknoten geben Bewegungsbahnen vor.

c) Routeknoten

Routeknoten stellen Verbindungen zwischen den Feldern von Knoten her. Sie erstellen gewissermaßen eine Art Nachrichtenkanal zwischen diesen Feldern.

d) Sensorknoten

Sensorknoten (auch einfach Sensoren genannt) reagieren auf Benutzereingaben. Zu den Sensorknoten zählen beispielsweise Proximity-, Time-, Touch-, Plane-, Sphere- und Cylinder-Knoten. Touch-Sensoren reagieren auf Mausklicks, Plane-, Sphere- und Cylinder-Knoten erlauben das interaktive Verschieben von Objekten.

Sensoren sind Quellen für Ereignisse. Durch das Anklicken eines in einen Touch-Sensor eingebetteten Objektes mit der Maus kann beispielsweise ein anderes (Ziel-)Objekt verändert werden. Der Mausklick ist das Ereignis, welches von dem Objekt registriert wird. Dieses sendet eine Nachricht an das Zielobjekt, das daraufhin den Inhalt eines Feldes und somit seinen Zustand ändert. Die beiden Objekte müssen vorher durch eine Route miteinander verbunden werden.

e) Proto-Knoten

Proto-Knoten sind nicht vorgegebene, sondern selbst definierte Knoten mit ebenfalls selbst definierten Feldern. So kann ein Tisch-Proto geschrieben werden, der als Feldwerte die Ausmaße eines Tisches und seine Farbe enthält.

f) Script-Knoten

Skripte dienen der Modellierung von komplexeren Verhaltensweisen. Sie sind in einer von VRML unterstützten Skript-Sprache VRMLScript erstellbar. Skripte sind wie andere Knoten in einen Szenengraphen eingebunden und können Ereignisse über Routes senden und empfangen.

Für jede Aktualisierung einer veränderlichen 3D-Szene wird die Baumstruktur des Szenengraphs durchquert. Veränderungen des Szenengraphs können zum einen

aus diesem selbst heraus entstehen, beispielsweise aufgrund von Interpolationsknoten. Solche Veränderungen entstehen also ohne Benutzerinteraktion, sondern etwa aufgrund eines geänderten Zustandes eines Time-Sensors. Veränderungen des Szenengraphs können zum anderen durch Benutzereingaben veranlasst werden, beispielsweise durch einen Mausklick.

Zur Berechnung und Darstellung von Szenengraphen sind verschiedene Browser bekannt, so beispielsweise der als Open Source erhältliche VRML97-Browser Blaxxun 4.2.

Figur 5 zeigt ein vereinfachtes Blockschaltbild eines Graphikrechensystems, wie es in den Ausführungsbeispielen der Figuren 1 und 3 verwendet wird. Dargestellt sind die auf den Rechnern 22 bis 30 implementierten logischen Strukturen, nicht ihre hardwaremäßige Realisierung.

Das Blockschaltbild beschränkt sich auf den Master 30 sowie die Graphikrechner 22 und 24 und die zugeordneten Lichtbildprojektoren 14 bzw. 16. Auf den Graphikrechnern 26 und 28 in den Ausführungsbeispielen der Figuren 1 und 3 ist grundsätzlich dieselbe Struktur implementiert wie auf den Graphikrechnern 22 und 24. Die bestehenden geringfügigen Unterschiede ergeben sich von selbst aus der nachfolgenden Beschreibung.

Der Master 30 und die Graphikrechner 22 bis 28 sind über zwei logische Kanäle mit einander verbunden. Auf einem ersten Kanal 82 übersendet der Master 30 den Clients 22 bis 28 zyklisch Nachrichten, die der Synchronisation der vom Master und den Clients zur Bildberechnung verwendeten Parameter und der Synchronisation der Ausgabe der von den Clients berechneten Lichtbilder an die zugeordneten Projektoren dienen. Auf einem zweiten Kanal 80 tauschen Master und Graphikrechner zum einen Nachrichten aus, die in erster Linie dem Aufbau und der Aufrechterhaltung der Kommunikation zwischen Master und Graphikrechnern dienen. Beispiele der über die Kanäle versandten Nachrichten werden weiter unten im Anschluss an die Strukturbeschreibung im einzelnen erläutert.

Der Master 30 weist einen Szenengraphspeicher 84 auf, in dem eine oder mehrere Szenengraphdateien enthalten sind. Den Szenengraphspeicher 84 bildet beispielsweise eine Festplatte oder ein Speicherbereich einer auch anderweitig belegten

Festplatte. Weiterhin verfügt der Master 30 über einen Arbeitsspeicher 86, in den für die Darstellung eines Szenengraphen die entsprechende Szenengraphdatei geladen wird. Der Arbeitsspeicher 86 wird von einem oder mehreren RAM-Bausteinen gebildet.

Der Masterrechner 30 weist weiterhin einen Graphikmaster 88 auf. Der Graphikmaster ist eingangsseitig mit der Maus 44, der Tastatur 46 sowie einem oder mehreren Eingabegeräten 48 verbunden. Mögliche Eingabegeräte 48 wurden oben anhand von Figur 1 beschrieben. Der Graphikmaster weist eine Ein- und Ausgabe-Schnittstelle 89 auf, die ihn mit dem ersten Nachrichtenkanal 82 verbindet.

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel weist der Graphikmaster zusätzlich die Struktur- und Funktionsmerkmale einer Graphikclienteinheit auf. Über einen Bild-datenausgang ist der Graphikmaster daher zusätzlich mit einer Graphikrecheneinheit 90 verbunden, die wiederum über einen Signalausgang einen Monitor 42 steuert.

Weiterhin weist der Masterrechner 30 einen Synchronisationsmaster 92 auf, der mit dem Graphikmaster 88 verbunden ist. Der Synchronisationsmaster hat eine Ein- und Ausgabeschnittstelle 93, die ihn mit dem zweiten Nachrichtenkanal 80 verbindet. In Figur 5 nicht dargestellt sind die Einheiten des Masterrechners 30, die die Soundsteuerung übernehmen. Hierzu weist der Master eine 3D-Soundkarte auf, an die ein externer Verstärker angeschlossen ist.

Auf den Graphikrechnern 22 und 24 sind weitgehend gleiche Strukturen realisiert. Die nachfolgende Beschreibung beschränkt sich daher auf den Graphikrechner 22. In Figur 5 sind gleiche Strukturen der Graphikrechner 22 und 24 mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Der Graphikrechner 22 weist einen Graphikclient 94 auf, der auf einen Arbeitsspeicher 96 zugreift. Der Graphikclient 94 hat eine Ein- und Ausgabeschnittstelle 95, die ihn über den ersten Kanal 82 mit dem Graphikmaster 88 verbindet. Weiterhin weist der Graphikclient einen Bilddatenausgang auf, über den er mit einer Graphikrecheneinheit 98 verbunden ist. Die Graphikrecheneinheit wiederum steuert über ihren Signalausgang den Betrieb des Projektors 20.

Der Graphikrechner 22 weist schließlich einen Synchronisationsclient 100 auf, der mit dem Graphikclient 94 verbunden ist. Der Synchronisationsclient 100 hat eine Ein- und Ausgabe-Schnittstelle 101, die ihn über den zweiten Kanal 80 mit dem Synchronisationsmaster 92 verbindet.

Im folgenden werden die Funktionsmerkmale des Graphikmasters 88, des Graphikclients 94 sowie , des Synchronisationsmasters 90 und des Synchronisationsclients 100 beschrieben.

Den Graphikmaster 88 kann als Hardware-Baustein oder in Form eines ausführbaren Programms im Masterrechner implementiert sein. Der Graphikmaster verfügt über die Funktionsmerkmale eines VRML-Browsers. VRML-Browser finden weit verbreitet Anwendung zur Darstellung dreidimensionaler Szenen, die in VRML beschrieben sind. Der Graphikmaster 88 basiert auf dem VRML97-Browser Blaxxun 4.2. Zu den Funktionsmerkmalen des VRML-Browsers gehören ein Ladeprozess, der eine Szenengraphdatei von der Festplatte in den Arbeitsspeicher lädt. Weiterhin eine Bildberechnungsroutine, die eine im Arbeitsspeicher vorhandene Szenengraphdatei in Abhängigkeit von empfangenen Eingangssignalen der Geräte 44 bis 46 oder einem Signal eines hier nicht dargestellten internen Zeitgebers traversiert, d.h. einen Teil der oder alle in einer Szenengraphdatei enthaltenen Szenengraphparameter neu berechnet. Die neu berechneten Szenengraphparameter ersetzen oder ergänzen die bis dahin im Arbeitsspeicher abgelegten Szenengraphparameter. Der Begriff des Szenengraphparameters wird unten anhand der Beschreibung von State-Objekten näher erläutert. Unter bestimmten Voraussetzungen ist auch das Überschreiben der betreffenden Szenengraphdatei im Szenengraphspeicher 84 möglich. Weiterhin verfügt der Graphikmaster über Routinen, die in Abhängigkeit von den aktuellen Szenengraphparametern die Bilddaten eines aktuellen Rasterbildes der in der Szenengraphdatei beschriebenen Szene berechnen. Dabei kann auch lediglich ein Ausschnitt der Szene berechnet werden. Das Rasterbild besteht aus matrixförmig angeordneten Bildelementen. Jedes berechnete Bildelement kann neben seinen Matrixkoordinaten in bekannter Weise durch 3 Farbwerte beschrieben werden.

Die Graphikclients 94 weisen grundsätzlich dieselben Funktionsmerkmale auf, führen ihre Berechnungen jedoch nicht wie der Graphikmaster 88 in Abhängigkeit von aktuellen Eingabegerätesignalen durch. Vielmehr sind sie eingangsseitig mit

dem ersten Kanal 82 verbunden und empfangen die zur Aktualisierung ihres jeweiligen Teilbildes erforderlichen Parameter vom Graphikmaster. Dieser ist bei der Bildaktualisierung stets ein Bild im Voraus. Jedem der Graphikclients 94 der einzelnen Graphikrechner 22 bis 28 ist eine Kennzeichnung fest zugeordnet. Anhand dieser Kennzeichnung sind die Graphikclients 94 in der Lage, aus den vom Graphikmaster erhaltenen Parametern das jeweilige Teilbild der nächsten Szene für das jeweilige Auge zu berechnen. Die Kennzeichnung kann verändert werden, wenn ein Graphikrechner ein anderes Teilbild für einen anderen Projektor berechnen soll.

Der Graphikmaster 88 und die Graphikclients 94 verfügen über zusätzliche Funktionsmerkmale, die einen Nachrichtenaustausch auf dem ersten Kanal 82 ermöglichen. Im folgenden werden Nachrichten beschrieben, die der Graphikmaster und Graphikclients auf dem ersten Kanal 82 austauschen:

a) Update-Nachricht

Der Graphikmaster 90 ist den Graphikclients 94 bei der Berechnung der Szene stets um ein Bild (Frame) voraus. Nachdem der Graphikmaster das Bild des Szenengraphs berechnet hat, enthält die Szenengraphdatei ihre aktuellen Werte. Mit einer Update-Nachricht übermittelt der Graphikmaster allen Graphikclients die aktuellen Werte der Szenengraphdatei für den von ihm vorausberechneten Frames, die die Graphikclients benötigen, um ihr nächstes jeweiliges Teilbild für das jeweilige Auge berechnen zu können.

Um die Szenengraphen der Graphikclients an den aktuellen Zustand des Szenengraphen auf dem Server anzupassen, werden lediglich die Sensoren gekapselt. Alle anderen Zustandsänderungen beruhen auf den Werten, die die Sensoren liefern.

Eine Update-Nachricht enthält die aktuellen Werte aller State-Objekte der geladenen Szenengraphdatei, die sich gegenüber dem zuletzt vorangegangenen Bildberechnungszyklus verändert haben. State-Objekte sind alle Objekte einer Szenengraphdatei, deren Parameterwerte allen Graphikclients 94 in jedem Bildberechnungszyklus identisch vorliegen müssen, um mit ihren jeweiligen Teilbildern insgesamt ein und dieselbe Szene darstellen zu können, und die daher Zyklus für Zyklus synchronisiert werden müssen. Beispielsweise sind Felder von Sensorknoten Sta-

te-Objekte und daher in einer Update-Nachricht enthalten, wenn sie sich gegenüber dem letzten Zyklus verändert haben. Zu den State-Objekten, die in der Update-Nachricht enthalten sind gehört auch eine Kameraposition, bezüglich derer die Szene zu berechnen ist und die Orientierung der Kamera.

Der Graphikmaster testet für die Zusammenstellung einer anstehenden Update-Nachricht alle State-Objekte der Szenengraphdatei auf Änderung gegenüber dem letzten Bildberechnungszyklus. Falls eine Änderung bei einem State-Objekt festgestellt wird, wird die Update-Nachricht um die Werte dieses State-Objektes erweitert. Die gesamte Update-Nachricht wird in einem Stück vom Graphikmaster 88 an die Graphikclients 94 gesendet.

Damit die Graphikclients alle vom Graphikmaster aktualisierten Werte der State-Objekte identifizieren können, verwendet der Graphikmaster 88 in der Update-Nachricht zur eindeutigen Identifizierung von State-Objekten eine Kennzeichnung (ID), die sich zusammensetzt aus

- dem Dateinamen der betreffenden Szenengraphdatei
- der Zeilennummer innerhalb der Szenengraphdatei, in der das State-Objekt definiert wird,
- der Spaltennummer (oder laufenden Nummer des Zeichens) innerhalb dieser Zeile, ab dem das State-Objekt definiert wird,
- dem Typ der Erzeugung des State-Objektes (beispielsweise durch ein Skript oder einen Proto-Knoten) und, falls dieses insoweit definierte State-Objekt mehrfach aktiviert ist,
- einer Indexnummer für jedes dieser aktiven State-Objekte.

State-Objekte werden jeweils beim ersten Benutzen ihrer Kennzeichnung angelegt. Es wird zwischen Kennzeichnungen für statische und dynamische State-Objekte unterschieden. Dynamische State-Objekte werden beim Neuladen einer Szenengraphdatei automatisch entfernt. State-Objekte werden somit sowohl beim Laden einer Szenengraphdatei angelegt wie auch beim Eintreffen von Update-Nachrichten, die State-Objekte enthalten. Da Graphikmaster 88 und Graphikclient 94 dieselbe Szene laden, spielt es keine Rolle, welcher von beiden ein State-Objekt zuerst anlegt. Bei der Berechnung des ersten Bildes der Szene werden die Werte automatisch abgeglichen.

Die Tatsache, dass der Graphikmaster 90 einen Frame "Vorsprung" gegenüber den Graphikclients hat, ist von großem Vorteil für die Synchronisierung der Bildberechnung durch die Graphikclients und der Projektion der von ihnen berechneten Teilbilder. Alle Graphikclients erhalten die Update- Nachricht zum selben Zeitpunkt und beginnen dann mit ihrer individuellen Bildberechnung.

In einer Update-Nachricht müssen nicht alle State-Objekte enthalten sein. Die Veränderungen des Szenengraphen, die durch die Eingabegeräte 44 bis 48 bewirkt sind (sondern zum Beispiel durch den Time-Sensor), müssen nicht synchronisiert werden, da die Systemzeit synchronisiert wird und die Änderungen deterministisch von allen Graphikclients gleichzeitig durchgeführt werden. Es genügt daher, wenn nur die von den Eingabegeräten 44 bis 48 direkt veränderten State-Objekte enthalten sind. Alle anderen Veränderungen des Szenengraphen sind automatisch synchron (zum Beispiels die Positionen des Betrachters der Objekte, die Ausführung von Skripten). Eine Ausnahme bilden Movie-Knoten, die als Texturen verwendet werden können. Diese werden gesondert synchronisiert, damit sie von allen Graphikclients synchron laufen.

b) Berechnen-Fertig-Nachricht

Die Berechnen-Fertig-Nachricht wird von einem Graphikclient an den Masterclient gesendet, wenn der betreffende Graphikclient die Bildberechnung "sein" Teilbild der nächsten anzuzeigenden Szene abgeschlossen hat. Mit der Berechnen-Fertig-Nachricht wird zugleich auch die Kennzeichnung des absendenden Graphikclients übermittelt. Auf diese Weise kann der Graphikmaster stets zuordnen, welche Graphikclients die Berechnung schon abgeschlossen haben und welche noch nicht.

c) Bild-Umschalten-Nachricht

Die Bild-Umschalten-Nachricht wird vom Master zugleich an alle Clients gesendet. Mit ihr gibt der Master allen Clients zugleich das Kommando, die fertig berechneten Bilder über die jeweilige Graphikrecheneinheit an an den angeschlossenen Projektor auszugeben. Die Bild-Umschalten-Nachricht wird nur gesendet, wenn der Graphikmaster 88 nach der letzten Update-Nachricht eine Berechnen-Fertig-Nachricht von allen aktiven Graphikclients 94 empfangen hat.

Die Bild-Umschalten-Nachricht ist ein weiteres wesentliches Element für die Synchronisation der Bildprojektion bei den Anordnungen der Figuren 1 und 3. Da der Graphikmaster abwartet, bis alle Graphikclients zur Ausgabe der berechneten Teilbilddaten an die jeweilige Graphikrecheneinheit 98 bereit sind und dann alle Graphikclients zugleich auf die Bild-Umschalten-Nachricht hin ihre jeweiligen Teilbilddaten ausgeben, ist eine synchrone Projektion der aktuellen Teilbilder der Szene gewährleistet.

Der Funktionsmerkmale des Synchronisationsmasters 92 und der Synchronisationsclients 100 dienen in erster Linie der Initialisierung und Steuerung des Master-/Client-Netzwerks sowie der Übermittlung von Browserkommandos. Der Synchronisationsmaster 92 und die Synchronisationsclients 100 kommunizieren hierfür über den zweiten Nachrichtenkanal 80. Der zweite Kanal wird auf dem Masterrechner und auf den Graphikrechnern von einem parallelen Thread bedient. Die Kommunikation erfolgt vorzugsweise unter Verwendung von UDP (User Datagram Protocol). Ein Nachrichtenaustausch über TCP/IP (Transfer Control Protocol/Internet Protocol) ist alternativ ebenfalls möglich, hat sich jedoch als langsamer erwiesen. Beide Varianten werden durch Synchronisationsmaster und -clients unterstützt.

Zu den auf dem zweiten Kanal 80 ausgetauschten Nachrichten zählen:

a) Ping-Nachricht

Diese Nachricht entspricht der aus dem TCP/IP-Protokoll bekannten Ping-Nachricht. Mit der Ping-Nachricht wird ein angegebener Adressat zum sofortigen Rücksenden einer Ping-Empfangsnachricht an den Absender aufgefordert. Ping-Nachrichten können vorliegend sowohl vom Master an jeden Client wie auch von jedem Client an den Master gesendet werden. Eine Kommunikation der Clients untereinander ist nicht vorgesehen. Die Ping-Nachrichten werden zum Testen von Timeouts der Netzwerkkommunikation verwendet. Der Synchronisationsmaster 92 testet mehrmals pro Sekunde das Vorhandensein der Synchronisationsclients. Bei Timeouts wird ein erneuter Aufbau des Master/Client-Netzwerks versucht.

b) Szenengraph-Laden-Nachricht

Diese Nachricht wird vom Synchronisationsmaster an alle Clients versandt. Sie enthält eine URL und eine Szenenkennzahl. Mit dieser Nachricht werden die

Clients aufgefordert, die an der angegebenen URL gespeicherte Szenengraphdatei zu laden. Die Szenenkennzahl, beispielsweise eine ganze Zahl, wird mit jeder Berechnung inkrementiert und dient der Kennzeichnung des jeweils aktuellen Stadiums des Szenengraphen.

c) Laden-Komplett-Nachricht

Diese Nachricht wird von jedem der Synchronisationsclients an den Synchronisationsmaster versandt, wenn nach dem Erhalt einer Szenengraph-Laden-Nachricht vom Master her das Laden des Szenengraphs den Arbeitsspeicher des betreffenden Graphikrechners beendet wurde.

d) Rendering-Modus

Diese Nachricht wird vom Master an alle Clients versandt und enthält als Parameter Angaben zur Art und Weise der von den Clients durchzuführenden Bildberechnung. Als Angaben zum Rendering-Modus können beispielsweise Wireframe an/aus, Gouraud an/aus, Texturen berechnen an/aus, oder Texturfilterung an/aus in der Nachricht enthalten sein.

e) Verbindungsneuaufbau-Nachrichten

Beim Ausbleiben einer Antwort auf eine Ping-Nachricht innerhalb einer bestimmten Zeitspanne wird geht der Sender der Ping-Nachricht von einem Zusammenbruch der Netzwerkkommunikation aus.

Wenn die Verbindung zusammenbricht wie wenn der Synchronisationsmaster abstürzt und neu gestartet wird, erhält der Synchronisationsmaster von allen Synchronisationsclients eine Verbindungs-Neuaufbau-Nachricht, die die im jeweiligen Arbeitsspeicher aktuell geladene URL und Szenenkennzahl enthält. Nicht immer sind alle Graphikclients bei der Berechnung ein und derselben Szene. Beispielsweise kann ein Graphikclient noch mit dem Empfangen der Update-Nachricht beschäftigt sein, wobei im Arbeitsspeicher noch die Szenenkennzahl der zuletzt berechneten Szene enthalten ist. Ein anderer Graphikclient kann schon mit der Berechnung der Szene begonnen haben, wobei im Arbeitsspeicher die Szenenkennzahl der neuen Szene enthalten ist. In den Arbeitsspeicher des Masterrechners wird daher die URL mit der höchsten Szenenkennzahl geladen. Der Synchronisationsmaster sendet diese URL und Szenenkennzahl an alle Clients. Dadurch sind

alle Graphikclients nach dem Neuaufbau der Verbindung wieder synchron und berechnen dieselbe Szene.

Wenn ein Graphikclient oder ein Synchronisationsclient abstürzt und neu gestartet wird, so verbindet sich der Synchronisationsclient 100 mit dem Synchronisationsmaster und sendet eine Verbindungs-Neuaufbau-Nachricht, die als aktuell geladene URL ein Leerzeichen angibt und eine Szenenkennzahl 0. Der Master sendet daraufhin mit einer Szenengraph-Laden-Nachricht die URL des zu ladenden Szenengraphs und die aktuelle Szenenkennzahl. Daraufhin lädt der Client die vom Master dargestellte Szene. Die anderen Synchronisationsclients ignorieren diese Nachricht, da sie diese Szene schon geladen haben. Auch wenn kein Absturz vorlag, sondern lediglich ein netzwerk-bedingter Timeout, stellen alle beteiligten Instanzen anhand der übersandten Nachrichten fest, dass sie dieselbe Szenengraphdatei mit derselben Szenenkennzahl geladen haben. Die Bildberechnung und -projektion kann ohne Neuladen oder Pause weitergeführt werden. Hierzu wird auch die Beschreibung der Figur 7 verwiesen.

f) Beenden-Nachricht

Diese Nachricht wird vom Synchronisationsmaster an alle Synchronisationsclients versandt und beendet die Bildberechnung und die Kommunikation zwischen ihnen.

Der Synchronisationsmaster verwaltet auch, welche der Clients aktiv sind. Nachrichten werden nur mit aktiven Clients ausgetauscht. Genauso wird von den Clients laufend überprüft, ob der Master noch arbeitet.

Grundsätzlich können auf dem ersten und dem zweiten Kanal beliebige Nachrichten zwischen dem Synchronisationsmaster und den Synchronisationsclients bzw. dem Graphikmaster und den Graphikclients übermittelt werden. Die gewählte Aufteilung hat den Vorteil, dass die Kommunikation zwischen Graphikmaster- und -Clients auf den Austausch der für die Bildberechnung und Synchronisierung der Bilddatenausgabe wesentlichen Nachrichten beschränkt ist und die Graphikmaster- und -clients daher nicht mit zusätzlichen Aufgaben belastet werden. Die Funktionsmerkmale der Synchronisationsmaster und -clients können von unterschiedlichen Graphikmastern genutzt werden. Grundsätzlich kann jede Art von Anwendung die Dienste der Synchronisationseinheiten nutzen. Anwendungen, die eine

zyklische Routinen nach Art eines Runtime-Loops durchführen, sind am leichtesten an die gegebenen Synchronisationsmöglichkeiten anzupassen.

Figur 6 zeigt ein vereinfachtes Blockdiagramm eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und synchronen Bilddatenausgabe. Das vorliegende Ausführungsbeispiel gleicht in weiten Teilen der anhand von Figur 5 beschriebenen Ausführungsform. Daher werden für gleiche Strukturelemente hier gleiche Bezugszeichen verwendet und nachfolgend lediglich die Unterschiede zur Vorrichtung der Figur 5 beschrieben.

Die Graphikclients 94 der Graphikrechner 22 und 24 sind ausgangsseitig mit einer Teilbildumschalteneinheit 102 verbunden. Die Teilbildumschalteneinheit weist zwei Bilddatenzwischenspeicher 104 und 106 auf. Der erste Bilddatenzwischenspeicher 104 ist mit der Graphikclienteneinheit 94 des Graphikrechners 22 verbunden, der zweite Bilddatenzwischenspeicher 106 mit der Graphikclienteneinheit 94 des Graphikrechners 24. Die Bilddatenzwischenspeicher 104 und 106 nehmen die von den zugeordneten Graphikclients 94 ausgegebenen Bilddaten auf.

Die Bilddatenzwischenspeicher 104 und 106 sind beide mit dem Bilddatenausgang der Teilbildumschalteneinheit 102 verbunden. Zu einem Zeitpunkt können über den Bilddatenausgang entweder die im Bilddatenzwischenspeicher 104 oder die im Bilddatenzwischenspeicher 106 enthaltenen Bilddaten ausgegeben werden. Dies ist in Figur 6 durch einen Umschalter 108 gekennzeichnet.

Weiterhin weist die Teilbildumschalteneinheit 102 einen Signaleingang auf, über den sie mit einer Schaltsteuereinheit verbunden ist. Die Teilbildumschalteneinheit gibt in Abhängigkeit vom Zustand eines Signaleingangs entweder den Inhalt des ersten oder den zweiten Inhalt des zweiten Bilddatenzwischenspeichers über den Bilddatenausgang aus. Der Bilddatenausgang der Teilbildumschalteneinheit 102 ist mit einer Graphikrecheneinheit 98 verbunden, an die wiederum ein Lichtbildprojektor 20 angeschlossen ist.

Die Steuerung der Bilddatenausgabe durch die Teilbildumschalteneinheit 102 übernimmt die Schaltsteuereinheit 110, die mit einem Signaleingang der Teilbildumschalteneinheit 102 verbunden ist und im vorliegenden Ausführungsbeispiel zusammen mit der Graphikrecheneinheit 98 und in ein Synchronisierungsmodul 111 in-

tegiert ist. Sie erzeugt abwechselnd ein erstes und ein zweites Signal, das an die Teilbildumschaltseinheit gesendet wird. Mit dem ersten Signal wird die Teilbildumschaltseinheit 102 zum Ausgeben des Inhaltes des ersten Bilddatenzwischenspeichers 104 über den Bilddatenausgang veranlasst. Mit dem zweiten Signal wird sie zum Ausgeben des Inhalts des zweiten Bilddatenzwischenspeichers 106 über den Bilddatenausgang veranlasst.

Die Schaltsteuereinheit 110 erzeugt das erste und zweite Signal mit einer vorbestimmbaren Signalabgabefrequenz. Eine Signalperiode umfasst die Abgabe eines ersten Signals und eines zweiten Signals. Die Zeitspanne zwischen der Abgabe des ersten und zweiten Signals beträgt die Hälfte der Signalperiodendauer. Zur Einstellung der Signalabgabefrequenz sind verschiedene, in Figur 6 nicht näher dargestellte Methoden möglich. Zum einen kann die Schaltsteuereinheit 110 eine Frequenzsteuerung mit einem Steuereingang für Eingaben von extern aufweisen. An diesen Eingang kann beispielsweise die Graphikmastereinheit 88 angeschlossen werden. Auch eine Einstellung der Abgabefrequenz über einen manuellen Regler kann alternativ oder zusätzlich vorgesehen sein.

Die Schaltsteuereinheit 110 weist einen zweiten Signalausgang 110 auf, der parallel zum ersten Signalausgang das erste und zweite Signal abgibt. Über den zweiten Signalausgang werden die Signale vorliegend in Form von Infrarotlicht abgegeben. Sie werden von Empfängern 112 und 114 einer Shutterbrille 116 detektiert. Die Shutterbrille 116 weist ein linkes Glas 118 und ein rechtes Glas 120 auf. Die Lichtdurchlässigkeit (Transmission) des linken und rechten Glases ist elektrisch mit hoher Frequenz (um 100 Hz) von hoch auf gering und umgekehrt umschaltbar. Die Transmission der beiden Gläser ist stets entgegengesetzt, so dass ein Träger der Shutterbrille stets nur durch ein Glas sehen kann. Mit dem Empfang des ersten bzw. zweiten Signals von der Schaltsteuereinheit wird ein Umschaltvorgang bei beiden Gläsern veranlasst.

Die Shutterbrille wird mit Hilfe des ersten Signals von der Schaltsteuereinheit so gesteuert, dass das linke Glas 118 durchlässig geschaltet wird, wenn das Teilbild für das linke Auge aus dem dafür vorgesehenen Bilddatenzwischenspeicher 104 an die Graphikrecheneinheit 98 ausgegeben und vom Projektor 20 projiziert wird. Zugleich wird das rechte Glas undurchlässig geschaltet. Sobald das zweite Signal detektiert wird, wird die Durchlässigkeit der beiden Gläser 118 und 120 umgekehrt.

Durch das zweite Signal wird zugleich der zweite Bilddatenzwischenspeicher 106 zur Ausgabe der Bilddaten des Teilbildes für das rechte Auge veranlasst, die von der Graphikrecheneinheit ohne wahrnehmbare Verzögerung in Steuersignale für den Projektor 20 umgesetzt und von diesem projiziert werden.

Figur 7 zeigt in zwei parallelen Flussdiagramm die Abfolge der einzelnen Schritte, die beim Laden einer darzustellenden Szenengraphdatei vom Synchronisationsmaster (links) und Synchronisationsclient (rechts) abgearbeitet werden. Das Laden einer Szenengraphdatei erfolgt in der Regel nur einmal unmittelbar vor Beginn der Darstellung einer neuen Szene, in Ausnahmefällen auch nach einem Absturz eines Graphikrechners.

Die Ladeprozedur beginnt mit einem Schritt M10, mit dem der Synchronisationsmaster 92 über den zweiten Kanal 80 ein "Szenengraph-Laden"-Kommando an alle Synchronisationsclients 100 sendet, die parallel mit einem Schritt C10 bis zum Empfang einer Nachricht ihre Eingänge überwachen. Das Übersenden des "Szenengraph-Laden"-Kommandos ist in Figur 6 durch einen gestrichelten Pfeil P10 von Block M10 zu Block C10 symbolisiert. Neben dem Befehl als solchem wird dabei die URL der Szenengraphdatei sowie eine Szenenkennzahl an den Client übermittelt, vgl. oben. Die Synchronisationsclients prüfen nach Empfang des Kommandos in einem Schritt C12 zunächst, ob die betreffende Szenengraphdatei schon in den Arbeitsspeicher des betreffenden Graphikrechners geladen ist. Ist dies nicht der Fall, wird die angegebene Szenengraphdatei mit den Werten der durch die Szenenkennzahl definierten Szene anschließend in einem Schritt C14 in den Arbeitsspeicher geladen. War sie dort schon vorhanden, wird der Schritt C14 übersprungen und gleich zum Schritt C16 verzweigt, mit dem eine "Laden-Komplett"-Nachricht über den zweiten Kanal 80 an den Synchronisationsmaster 92 gesendet wird. Auch das Übersenden dieser Nachricht ist in Figur 6 durch einen gestrichelten Pfeil P12 symbolisiert.

Unterdessen hat der Synchronisationsmaster mit Schritt M12 das Laden der im Schritt M10 definierten Szenengraphdatei in den lokalen Arbeitsspeicher 86 des Masterrechners 30 veranlasst. Mit Schritt M14 wartet der Synchronisationsmaster ab, bis von allen aktiven Synchronisationsclients eine "Laden-Komplett"-Nachricht eingetroffen ist. Erst wenn dies der Fall ist, veranlasst der Synchronisationsmaster

mit Schritt M16 den Start des Bildberechnungs- und Ausgabezyklus durch den Graphikmaster.

Der Bildberechnungs- und Ausgabezyklus ist in Figur 8 wiederum in Form zweier paralleler Flussdiagramme dargestellt. Das linke Flussdiagramm gibt die Schritte wieder, die der Graphikmaster durchführt, das rechte Flussdiagramm die Schritte, die jeder aktiver Graphikclient durchführt.

Die hier dargestellten Schritte des Graphikclients werden synchron, nicht jedoch notwendigerweise zeitgleich von allen aktiven Graphikclients durchgeführt. Synchron bedeutet hier, dass nur der Übergang in ein neues Verfahrensstadium (Teilbildberechnung, Bildwechsel) von allen Graphikclients zeitgleich durchgeführt wird.

Beide Flussdiagramme stellen Prozesszyklen dar, die wiederholt ausgeführt werden, solange keine anders lautenden Befehle von außen in den Ablauf eingreifen. Die Durchführung dieser Zyklen kann von außen gestartet und beendet werden, und zwar durch den Synchronisationsmaster und die Synchronisationsclients. Der Aufruf des Prozesszyklus auf dem Graphikmaster erfolgt beispielsweise mit dem Schritt M16 aus Figur 7. Die Durchführung des Zyklus auf einem Graphikclient 94 wird beispielsweise unterbrochen, wenn der mit ihm verbundene Synchronisationsclient 100 über den zweiten Kanal 80 eine "Szenengraph-Laden" Nachricht empfängt.

Der Prozesszyklus des Graphikmasters 88 weist zunächst einen Schritt M18 auf, mit dem eine Update-Nachricht zugleich an alle Graphikclients 94 gesendet wird. Das Übersenden dieser Nachricht auf dem ersten Kanal 82 ist durch einen Pfeil P14 symbolisiert, der vom Schritt M18 auf einen Schritt C20 weist, in dem der Graphikclient 94 den Eingang seiner Schnittstelle zum ersten Kanal 82 überwacht. Nach Empfang der Update-Nachricht führen alle Graphikclients in einem Schritt C22 die Berechnung ihres jeweiligen Teilbildes der nächsten anzuzeigenden Szene durch. Nach Durchführung dieses Schritts sendet jeder Graphikclient in einem Schritt C24 eine "Berechnen-Fertig"-Nachricht an den Graphikmaster. Wiederum ist das Übersenden dieser Nachricht durch einen Pfeil P16 angedeutet, der auf einen Schritt M20 des Graphikmasters weist. Mit diesem Schritt wartet der Graphikmaster 88 das Eintreffen der "Berechnen-Fertig"-Nachrichten von allen aktiven Graphikclients ab. Erst wenn er diese Nachricht von allen Graphikclients erhalten

hat, sendet der Graphikmaster mit einem Schritt M22 eine "Bild-Wechseln"-Nachricht über den ersten Kanal an alle Graphikclients (Pfeil P18). Diese warten das Eintreffen dieser Nachricht mit einem Schritt C26 ab. Unmittelbar nach dem Eintreffen der Nachricht veranlassen die Graphikclients 88 mit einem Schritt C28 einen Bildwechsel durch Ausgabe der berechneten Bilddaten ihres jeweiligen Teilbildes an die jeweilige Graphikrecheneinheit 98, die den zugeordneten Projektor zur Projektion des Teilbildes ansteuert. Anschließend springen die Graphikclients zurück zu Schritt C20. Der Graphikmaster geht unmittelbar nach Schritt M22 zur Berechnung des nächsten Bildes über, um anschließend zu Schritt M18 zurück zu springen.

Ist der Graphikclient bei der Bildberechnung langsamer als der Graphikmaster, wird die Update-Nachricht aus einem Message-Buffer entnommen. Die Updates werden übernommen, danach wird eine Rückmeldung an den Graphikmaster geschickt und auf die Bildumschalten-Nachricht gewartet. Wenn diese eintrifft, wird zum zuletzt berechneten Bild umgeschaltet.

Figur 9 zeigt einen alternativen Prozessablauf, der sich von dem in Figur 8 dargestellten darin unterscheidet, dass in einem Schritt M26 die Graphikmastereinheit 88 eine kombinierte Update und Bildwechselnachricht sendet. Anschließend berechnet die Graphikmastereinheit in einem Schritt M28 die Feldwerte der aktuell geladenen Szenengraphdatei neu. Auf das Eintreffen der "Berechnen-Fertig"-Nachricht von allen Graphikclients hin (M30) wird die nächste Update- und Bildwechselnachricht gesendet (M24). Die Graphikclienteneinheit berechnet nach dem Eintreffen der Update- und Bildwechselnachricht ihr Teilbild (C30), signalisiert der Graphikmastereinheit danach den Abschluss der Bildberechnung (C32) und gibt dann die Bilddaten des berechneten Teilbildes aus (C32). Gegenüber dem Verfahren nach Figur 8 entfallen im Prozess der Graphikclienteneinheit Schritte des Abwartens des Eingangs von Nachrichten von der Graphikmastereinheit her.

PATENTANSPRÜCHE

1. Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe, mit mindestens einem Signaleingang, der mit einem externen Eingabegerät (44, 46, 48) verbindbar ist, einem ersten Nachrichtenkanal (82) einer Graphikmastereinheit (88), die einen ersten Schreiblesespeicher (86) aufweist, der ausgebildet ist zur Aufnahme einer ersten Szenengraphdatei, welche in einem Bild darstellbare Objekte und/oder Ereignisse definiert und den Objekten und/oder Ereignissen Objekt- bzw. Ereignisparameterwerte zuordnet, mit dem Signaleingang verbunden ist, über eine erste Nachrichtenschnittstelle (89) für ein- und ausgehende Nachrichten mit dem ersten Nachrichtenkanal (82) verbunden ist, und die ausgebildet ist zum Neuberechnen und Abspeichern der Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte der ersten Szenengraphdatei in Abhängigkeit von deren aktuellen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerten sowie dem aktuellen Zustand des Signaleingangs und zum Erzeugen und Senden einer ersten Nachricht über die erste Nachrichtenschnittstelle (89), wobei die erste Nachricht mindestens einen Teil der neu berechneten Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte enthält, mindestens zwei Graphikclienteinheiten (94), wobei jede Graphikclienteinheit jeweils einen zweiten Schreiblesespeicher (96) aufweist, der ausgebildet ist zur Aufnahme einer zweiten Szenengraphdatei über eine zweite Nachrichtenschnittstelle (95) für ein- und ausgehende Nachrichten mit dem ersten Nachrichtenkanal (82) verbunden ist, einen Bilddatenausgang aufweist, und ausgebildet ist zum Empfangen aktueller Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte über die zweite Nachrichtenschnittstelle (95) und zum Abspeichern der empfangenen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte in der zweiten Szenengraphdatei, zum Berechnen von Bilddaten eines Bildes (72) in Abhängigkeit von aktuellen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerten der zweiten Szenengraphdatei, zum Erzeugen und Senden einer zweiten Nachricht an die Graphikmastereinheit (88) über die zweite Nachrichtenschnittstelle (95), die den Abschluss der Bilddatenberechnung des Bildes signalisiert, sowie zum Ausgeben der Bilddaten am Bilddatenausgang.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Graphikmastereinheit (88) zusätzlich ausgebildet ist zum Erzeugen einer dritten Nachricht und zum Senden der dritten Nachricht an jede Graphikclienteinheit (94) nach dem Empfang der zweiten Nachricht von jeder Graphikclienteinheit (94) her und jede Graphikclienteinheit (94) zusätzlich ausgebildet ist zum Ausgeben der Bilddaten am Bilddatenausgang nach dem Empfang der dritten Nachricht.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Graphikmastereinheit Schreib- und Lesezugriff auf einen dritten Schreiblesespeicher (84) hat, der mit dem zweiten Schreiblesespeicher (86) verbunden ist und in dem mindestens eine Szenengraphdatei abgelegt ist, wobei jeder im dritten Schreiblesespeicher enthaltenen Szenengraphdatei je eine Speicheradresse und/oder eine Szenengraphkennzahl zugeordnet ist.
4. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen zweiten Nachrichtenkanal (80) der Graphikmastereinheit zugeordnet eine Synchronisationsmastereinheit (92) die mit der Graphikmastereinheit (88) verbunden ist, die eine dritte Nachrichtenschnittstelle (93) für ein- und ausgehende Nachrichten aufweist, die sie mit dem zweiten Nachrichtenkanal (80) verbindet, und die ausgebildet ist zum Erzeugen einer vierten Nachricht, in der die Speicheradresse einer Szenengraphdatei und/oder die Szenenkennzahl der Szenengraphdatei enthalten ist sowie zum Senden der vierten Nachricht über die dritte Nachrichtenschnittstelle (93), jeder Graphikclienteinheit (94) zugeordnet je eine Synchronisationsclienteinheit (100), die mit der zugeordneten Graphikclienteinheit (94) verbunden ist die eine vierte Nachrichtenschnittstelle (101) aufweist, welche sie mit dem zweiten Nachrichtenkanal (80) verbindet, und die ausgebildet ist zum Empfang der vierten Nachricht an der vierten Nachrichtenschnittstelle (101) und zum anschließenden Veranlassen des Ladens der in der vierten Nachricht definierten Szenengraphdatei in den zweiten Datenspeicher (96), sowie zum Erzeugen und Senden einer fünften Nachricht, die den Abschluss des Ladens der Szenengraphdatei signalisiert, an die Synchronisationsmastereinheit (92) über die vierte Nachrichtenschnittstelle (101).

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Synchronisationsmastereinheit bzw. die Synchronisationsclienteinheit zusätzlich ausgebildet sind zum Erzeugen einer ersten Testnachricht bzw. einer zweiten Testnachricht zum Erzeugen einer ersten Testantwortnachricht nach Empfang der zweiten Testnachricht an der dritten Nachrichtenschnittstelle bzw. zum Erzeugen einer zweiten Testantwortnachricht nach Empfang der ersten Testnachricht an der vierten Nachrichtenschnittstelle, zum Senden der jeweiligen Test- und Testantwortnachricht über den zweiten Nachrichtenkanal (80).
6. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Graphikmastereinheit zur Echtzeitberechnung der Objekt- und Ereignisparameter und die Graphikclienteinheit zur Echtzeit-Bilddatenberechnung ausgebildet ist.
7. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Graphikclienteinheit und die Graphikmastereinheit als Browser für das Dateiformat VRML, Inventor, Performer und/oder X3D ausgebildet sind.
8. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch jeder Graphikclienteinheit (94) zugeordnet je eine Graphikrechen- einheit (98), die einen Dateneingang für Bilddaten aufweist, über den sie mit der zugeordneten Graphikclienteinheit (94) verbunden ist, die einen Signalausgang für Steuersignale zur Steuerung einer Anzeigeeinheit eines Bildwiedergabegerätes aufweist, und die ausgebildet ist zum Umsetzen am Eingang empfangener Bilddaten in Steuersignale und zum Ausgeben der Steuersignale über den Signalausgang.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, gekennzeichnet durch eine Teilbildumschalteinheit (102) für je zwei Graphikclienteinheiten (22, 24), mit einem Signaleingang, mindestens einem ersten und mindestens einem zweiten Bilddateneingang, der je einer Graphikclienteinheit (94) zugeordnet ist, einem ersten (104) und einem zweiten Bilddatenzwischenspeicher (106), der mit dem ersten bzw. zweiten Bilddateneingang verbunden ist einem Bilddatenausgang für jedes Paar von erstem und zweitem Bilddaten-

eingang, die ausgebildet ist, zum Ausgeben der Bilddaten entweder des ersten oder des zweiten Bilddatenzwischenspeichers über den Bilddatenausgang in Abhängigkeit vom Zustand des Signaleingangs, und mit einer Schaltsteuereinheit, die ausgangsseitig mit dem Signaleingang der Teilbildumschaltseinheit verbunden ist und die ausgebildet ist zum Erzeugen und Abgeben mindestens eines Steuersignals mit einer vorbestimmbaren Signalabgabefrequenz.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, gekennzeichnet durch eine Graphikrecheinheit, die mit dem Bilddatenausgang der Teilbildumschaltseinheit verbunden ist, die einen Signalausgang für Steuersignale zur Steuerung einer Anzeigeeinheit eines Bildwiedergabegerätes aufweist, und die ausgebildet ist zum Umsetzen am Eingang empfangener Bilddaten in Steuersignale und zum Ausgeben der Steuersignale über den Signalausgang.
11. Graphikmastermodul (), mit mindestens einem Signaleingang, der ausgebildet ist zum Empfang von Signalen eines externen Eingabegeräts (44, 46, 48), einer ersten Nachrichtenschnittstelle, die ausgebildet ist zum Senden und Empfangen digital kodierter Nachrichten, einem ersten Schreiblesepeicher (86) zur Aufnahme mindestens einer Szenengraphdatei, welche in einem Bild darstellbare Objekte und/oder Ereignisse definiert und den Objekten und/oder Ereignissen Objekt- bzw. Ereignisparameterwerte zuordnet, Bildparameterberechnungsmitteln, die mit dem ersten Schreiblesepeicher und dem Signaleingang sowie mit der Nachrichtenschnittstelle verbunden sind und die ausgebildet sind zum Berechnen von Objekt- und/oder Ereignisparameterwerten der ersten Szenengraphdatei in Abhängigkeit von deren aktuellen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerten sowie dem aktuellen Zustand des Signaleingangs, sowie Mastersteuermitteln, die mit den Bildberechnungsmitteln und der Nachrichtenschnittstelle verbunden sind, und die ausgebildet sind zum Erzeugen und Senden einer ersten Nachricht über die erste Nachrichtenschnittstelle (89), wobei die erste Nachricht mindestens einen Teil der berechneten Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte enthält.

12. Graphikmastermodul nach Anspruch 11, gekennzeichnet durch eines oder mehrere zusätzliche Merkmale der Graphikmastereinheit (88) in den Ansprüchen 2 bis 10.
13. Graphikclientmodul, mit einer zweiten Nachrichtenschnittstelle (95), die ausgebildet ist zum Senden und Empfangen digital kodierter Daten, einem zweiten Schreiblesespeicher (96) zur Aufnahme mindestens einer zweiten Szenengraphdatei, welche in einem Bild darstellbare Objekte und/oder Ereignisse definiert und den Objekten und/oder Ereignissen Objekt- bzw. Ereignisparameterwerte zuordnet, einem Bilddatenausgang, und Bilddatenberechnungsmitteln, die mit der zweiten Nachrichtenschnittstelle und dem zweiten Datenspeicher verbunden sind und ausgebildet sind zum Abspeichern der an der zweiten Nachrichtenschnittstelle empfangenen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte in der zweiten Szenengraphdatei, zum Erzeugen von Bilddaten eines Bildes (72) in Abhängigkeit von aktuellen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerten der zweiten Szenengraphdatei, zum Ausgeben der erzeugten Bilddaten am Bilddatenausgang Clientsteuermitteln, die mit der Nachrichtenschnittstelle und mit den Bilddatenberechnungsmitteln verbunden sind und die ausgebildet sind zum Erzeugen und Senden einer zweiten Nachricht an die Graphikmastereinheit (88) über die zweite Nachrichtenschnittstelle (95), die den Abschluss der Bilddatenberechnung des Bildes signalisiert.
14. Graphikclientmodul nach Anspruch 13, gekennzeichnet durch eines oder mehrere zusätzliche Merkmale der Graphikclienteinheit (94) in den Ansprüchen 2 bis 10.
15. Bildumschaltmodul, mit mindestens einem ersten und mindestens einem zweiten Bilddateneingang, jedem Paar von erstem und zweitem Bilddateneingang zugeordnet einem Bilddatenausgang, einem ersten und einem zweiten Bilddatenzwischenspeicher, der dem ersten bzw. dem zweiten Bilddateneingang zugeordnet ist der eingangsseitig mit dem ersten bzw. zweiten Bilddateneingang verbunden ist und ausgebildet ist zum Speichern von Bilddaten und zum Ausgeben gespeicherter Bilddaten über den zugeordneten Bilddatenausgang auf ein erstes bzw. zweites Steuersignal hin, einer Schaltsteuereinheit, die einen Signalausgang hat, über den sie mit

dem ersten und dem zweiten Bilddatenzwischenspeicher verbunden ist und die ausgebildet ist zum Erzeugen und Abgeben des ersten und des zweiten Steuersignals in abwechselnder Folge mit einer vorbestimmbaren Signalabgabefrequenz.

16. Bildumschaltmodul nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaltsteuereinheit zur zusätzlichen Abgabe des ersten und des zweiten Steuersignals in Form elektromagnetischen Strahlung, insbesondere Infrarotstrahlung, ausgebildet ist.
17. Anordnung zur Erzeugung und gleichzeitigen Wiedergabe mindestens zweier Teillichtbilder, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind, mit mindestens einer Streufläche (38, 40; 50, 52, 54), die ausgebildet ist zur polarisationserhaltenden Streuung von Licht in einen Raumbereich, der sich bezüglich auf die Streufläche einfallenden Lichts entweder vor oder hinter der Streufläche erstreckt, zwei einer jeweiligen Streufläche zugeordneten Lichtbildprojektoren (14, 16, 18, 20) als Bildwiedergabegeräten, die jeweils einen Steuereingang aufweisen und die ausgebildet sind zum Umsetzen jeweils einer Anzahl am Steuereingang empfangener Steuersignale in jeweils ein aus Lichtbildelementen matrixförmig zusammengesetztes Rasterlichtbild sowie zum Projizieren des jeweiligen Rasterlichtbildes unter Verwendung polarisierten Lichts, wobei die Polarisation des von den zwei Projektoren jeweils verwendeten Lichts unterschiedlich orientiert ist, und die angeordnet sind zum Projizieren des jeweiligen Rasterlichtbildes auf die zugeordnete Streufläche (38, 40; 50, 52, 54), einer Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe nach Anspruch 8, die jedem Lichtbildprojektor zugeordnet je eine Graphikrecheneinheit (98) aufweist, wobei der Signalausgang der jeweiligen Graphikrecheneinheit mit dem Steuereingang des jeweiligen Lichtbildprojektors verbunden ist, und wobei jede Graphikclienteinheit ausgebildet ist zum Berechnen von Rasterbilddaten eines das Blickfeld des linken oder rechten Auges eines Betrachters wiedergebenden Teilbildes eines durch die aktuellen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte der zweiten Szenengraphdatei definierten Bildes.

18. Anordnung nach einem der Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Projektoren je einen Polarisator aufweisen und die Polarisatoren für linear polarisiertes Licht mit senkrecht zu einander stehenden Schwingungsrichtungen durchlässig sind.
19. Anordnung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Projektoren rechts- bzw. linkszirkular polarisiertes Licht emittieren.
20. Anordnung nach einem der Ansprüche 17 bis 19, gekennzeichnet durch zwei senkrecht zueinander stehende Streuflächen (38, 40), die zur Rückstreuung von Licht ausgebildet sind.
21. Anordnung nach einem der Ansprüche 17 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Streuflächen metallisch sind
22. Anordnung nach einem der Ansprüche 17 bis 21, gekennzeichnet durch eine Analysatorbrille für einen Betrachter, mit zwei Gläsern, wobei das dem linken Auge des Betrachters zugeordnete Glas für Licht undurchlässig ist, das der bzw. die Lichtbildprojektoren emittieren, der das Teilbild für das rechte Auge projizieren, und das dem rechten Auge des Betrachters zugeordnete Glas für Licht undurchlässig ist, das der bzw. die Lichtbildprojektoren emittieren, der das Teilbild für das linke Auge projizieren.
23. Anordnung nach einem der Ansprüche 17 bis 22, gekennzeichnet durch fünf senkrecht zu einander stehende Streuflächen auf einem Boden derart, dass die Streuflächen und der Boden einen etwa kubischen Hohlraum begrenzen, und durch zwei linear polarisiertes Licht emittierende Lichtbildprojektoren für jede Streufläche, die die jeweilige Streufläche von außerhalb des Hohlraumes beleuchten, wobei die Streuflächen das einfallende Licht in den Halbraum hinter der jeweiligen Streufläche streuen.
24. Anordnung zur Erzeugung und zeitlich nacheinander erfolgenden Wiedergabe mindestens zweier Teillichtbilder, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind, mit mindestens einer Streufläche (38, 40; 50, 52, 54), die ausgebildet ist zur Streuung von Licht in einen Raumbereich, der sich bezüglich auf die Streufläche einfallenden Lichts entweder

vor oder hinter der Streufläche erstreckt, mindestens einem einer jeweiligen Streufläche zugeordneten Lichtbildprojektor (14, 16, 18, 20) als Bildwiedergabegerät, der einen Steuereingang aufweist und der ausgebildet ist zum Umsetzen einer Anzahl am Steuereingang empfangener Steuersignale in ein aus Lichtbildelementen matrixförmig zusammengesetztes Rasterlichtbild sowie zum Projizieren des Rasterlichtbildes, und der angeordnet ist zum Projizieren des jeweiligen Rasterlichtbildes auf die Streufläche (38, 40; 50, 52, 54), einer Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe nach Anspruch 9 oder 10, die jedem Lichtbildprojektor zugeordnet eine erste und eine zweite Graphikclienteinheit (98) aufweist, wobei der Bilddatenausgang der jeweiligen Graphikclienteinheit mit dem ersten bzw. zweiten Bilddateneingang der Teilbildumschalteinheit verbunden ist, und wobei die erste bzw. zweite Graphikclienteinheit ausgebildet ist zum Berechnen von Rasterbilddaten eines das Blickfeld des linken bzw. rechten Auges eines Betrachters wiedergebenden Teilbildes eines durch die aktuellen Objekt- und/oder Ereignisparameterwerte der zweiten Szenengraphdatei definierten Bildes.

25. Anordnung nach Anspruch 24, gekennzeichnet durch zwei senkrecht zueinander stehende Streuflächen (38, 40).
26. Anordnung nach Anspruch 24, gekennzeichnet durch 5 senkrecht zueinander stehende Streuflächen auf einem Boden derart, dass die Streuflächen und der Boden einen etwa kubischen Hohlraum begrenzen, durch einen Lichtbildprojektor für jede Streufläche, der die jeweilige Streufläche von außerhalb des Hohlraumes beleuchtet.
27. Anordnung nach einem der Ansprüche 17 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass der bzw. die Lichtbildprojektoren (14, 16, 18, 20) LCD- oder DLP Projektoren sind.
28. Anordnung nach einem der Ansprüche 17 bis 27, gekennzeichnet durch eine mit dem Graphikmaster verbundene PC-Soundkarte, durch einen mit ihr verbundenen Audio-Verstärker und durch mindestens zwei mit dem Audioverstärker verbundene Lautsprecher.

29. Anordnung nach einem der Ansprüche 17 bis 28, mit einer ersten und einer zweiten ebenen Streufläche, wobei die von den Streuflächen aufgespannten Ebenen einen Winkel einschließen, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und zweite Streufläche mit einander zugewandten Rändern an eine dritte ebene Streufläche angrenzen derart, dass die dritte Streufläche an die erste und zweite Streufläche jeweils unter stumpfen Winkel anschließt.
30. Anordnung nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass die Schnittgeraden der von den drei Streuflächen aufgespannten Ebenen parallel zueinander verlaufen.
31. Anordnung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass die Schnittgeraden der ersten und der zweiten Ebene mit der dritten Ebene jeweils den gleichen Abstand von der Schnittgeraden der ersten mit der zweiten Ebene aufweisen.
32. Anordnung nach einem der Ansprüche 29 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und zweite Ebene einen stumpfen oder rechten Winkel einschließen.
33. Anordnung nach einem der Ansprüche 29 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass die dritte Streufläche eine Breitenerstreckung von mindestens 60 cm aufweist.
34. Anordnung nach einem der Ansprüche 29 bis 34 sowie Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass jede Graphikclienteinheit ausgebildet ist zur Berechnung und Ausgabe jeweils mindestens zweier Teilbildteile (74, 76) derart, dass ein erster Teilbildteil (74) auf der ersten oder zweiten Projektionsfläche (38, 40) für einen Betrachter von mindestens einer Position aus verzerrungsfrei erscheint und dass ein zweiter Teilbildteil (76) auf der dritten Projektionsfläche von derselben Position aus verzerrungsfrei erscheint.
35. Verfahren zum synchronen Berechnen und Ausgeben von Bilddaten mindestens zweier Teilbilder eines Bildes, bei dem die Teilbilder in Form digitaler Teilbilddaten in Abhängigkeit von Bildparameterwerten und/oder aktuel-

len Eingangssignalen zyklisch neu berechnet werden und die Teilbilddaten nach jedem Berechnungszyklus ausgegeben werden, dadurch gekennzeichnet, dass gleichzeitig ein Masterprozess und für jedes Teilbild je ein Clientprozess durchgeführt werden, wobei der Masterprozess folgende Schritte aufweist:

Neuberechnen von Bildparameterwerten (M24) in Abhängigkeit von vorhandenen Bildparameterwerten und/oder von aktuellen Eingangssignalen;
Senden mindestens eines Teils der neu berechneten Bildparameterwerte an alle Clientprozesse (M18);

Abwarten des Empfangs von Bereitschaftssignalen von allen Clientprozessen her (M20) und der jeweilige Clientprozess folgende Schritte aufweist:

Empfangen der neu berechneten Bildparameterwerte vom Masterprozess her (C20), nach dem Empfangen der Bildparameterwerte Berechnen des jeweiligen Teilbildes in Form digital kodierter Bilddaten (C22), Senden eines jeweiligen Bereitschaftssignals an den Masterprozess (C24), Ausgeben des jeweiligen Teilbildes (C28).

36. Verfahren nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, dass der Masterprozess zusätzlich einen Schritt des Sendens eines Bildwechselsignals an alle Clientprozesse (M22) nach Empfang aller Bereitschaftssignale und der Clientprozess zusätzlich einen Schritt des Abwartens des Empfangs des Bildwechselsignals vom Masterprozess her (C26) aufweist.
37. Verfahren nach Anspruch 35 oder 36, dadurch gekennzeichnet, dass die Bildparameter in Abhängigkeit von dem Masterprozess von extern übergebenen Eingabedaten berechnet werden.
38. Verfahren nach einem der Ansprüche 35 bis 37, dadurch gekennzeichnet, dass der Masterprozess nach dem Empfang des Bereitschaftssignals von allen Clientprozessen her zum Berechnen der Bildparameterwerte (M24) eines neuen Bildes zurückspringt und der Clientprozess nach dem Bildwechseln zum Empfangen der Bildparameterwerte vom Masterprozess her (C20) zurückspringt.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bilddatenberechnung und zur synchronen Bilddatenausgabe. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Anordnung zur Erzeugung und Wiedergabe zweier Teillichtbilder, die zusammen als räumlich wirkendes Lichtbild wahrnehmbar sind. Schließlich betrifft die Erfindung ein Verfahren zur synchronen Wiedergabe zeitlicher Bildabfolgen durch mindestens zwei Bildwiedergabegeräte. Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist eine Master-Client-Struktur auf. Eine Graphikmastereinheit (88) und mindestens zwei Graphikclients (94) sind über einen ersten Nachrichtenkanal (82) miteinander verbunden und tauschen über den ersten Nachrichten aus, mit Hilfe derer die Berechnung und Projektion der Teilbilder synchronisiert wird.

Figur 5

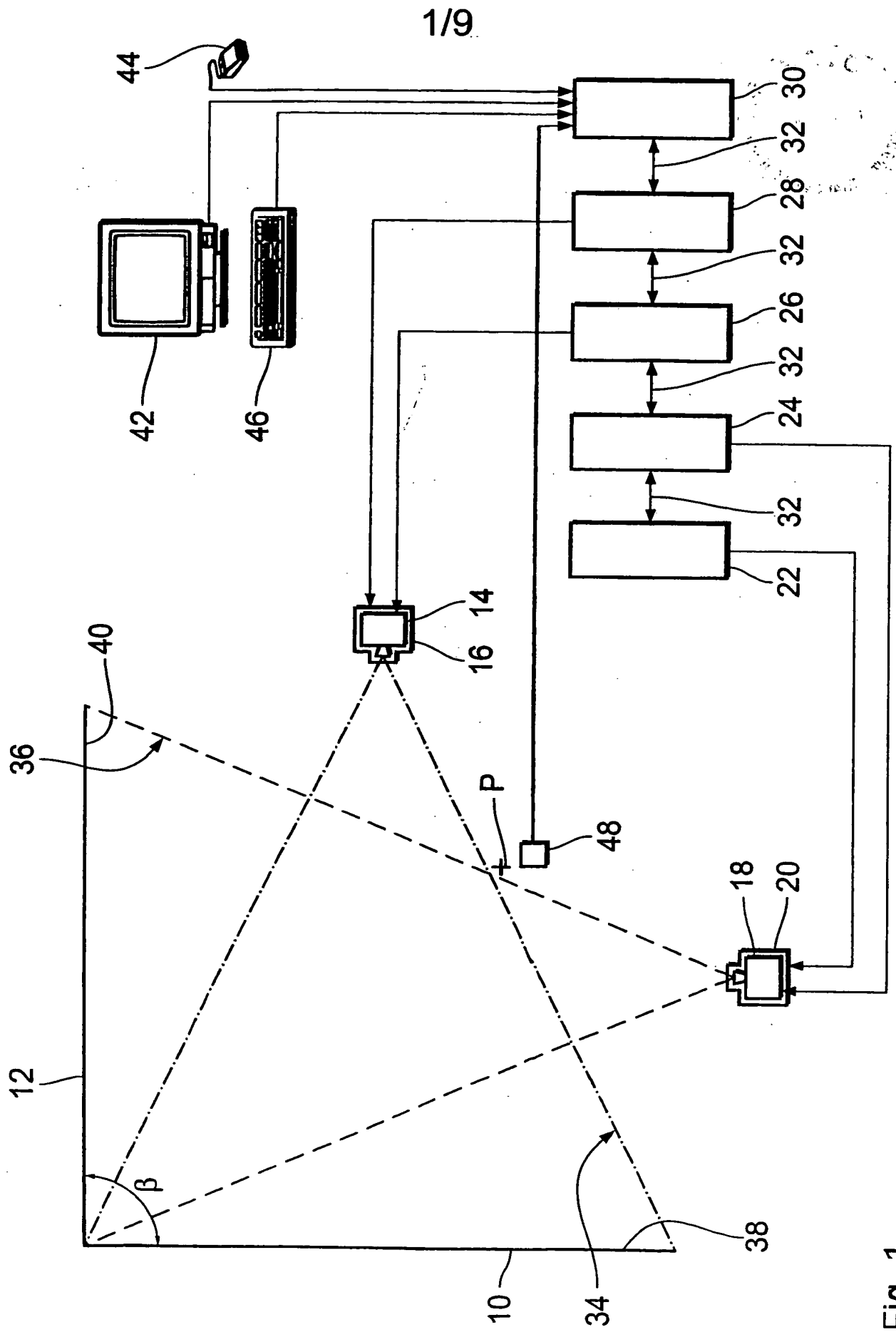


Fig. 1

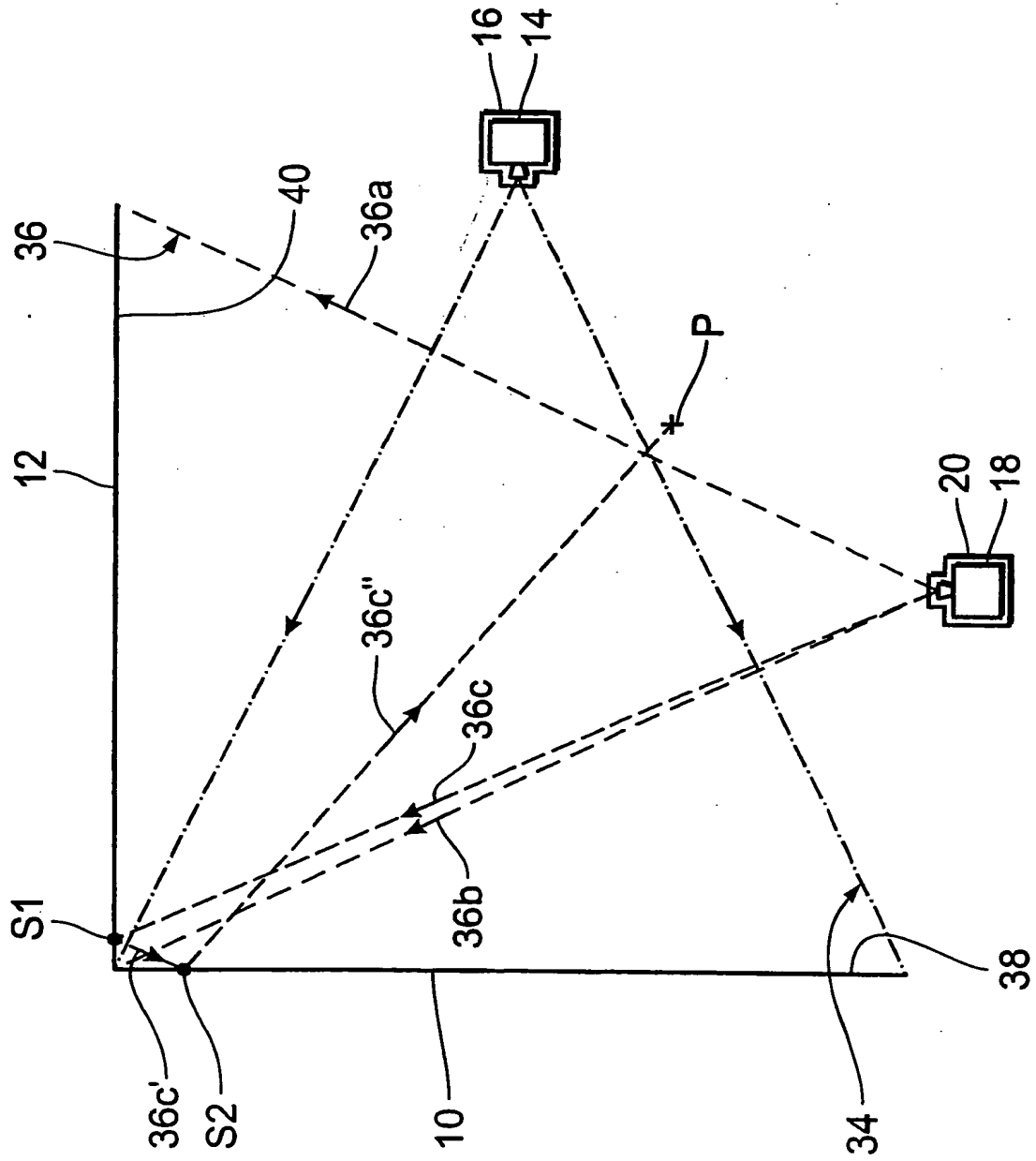
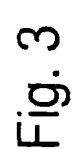


Fig. 2



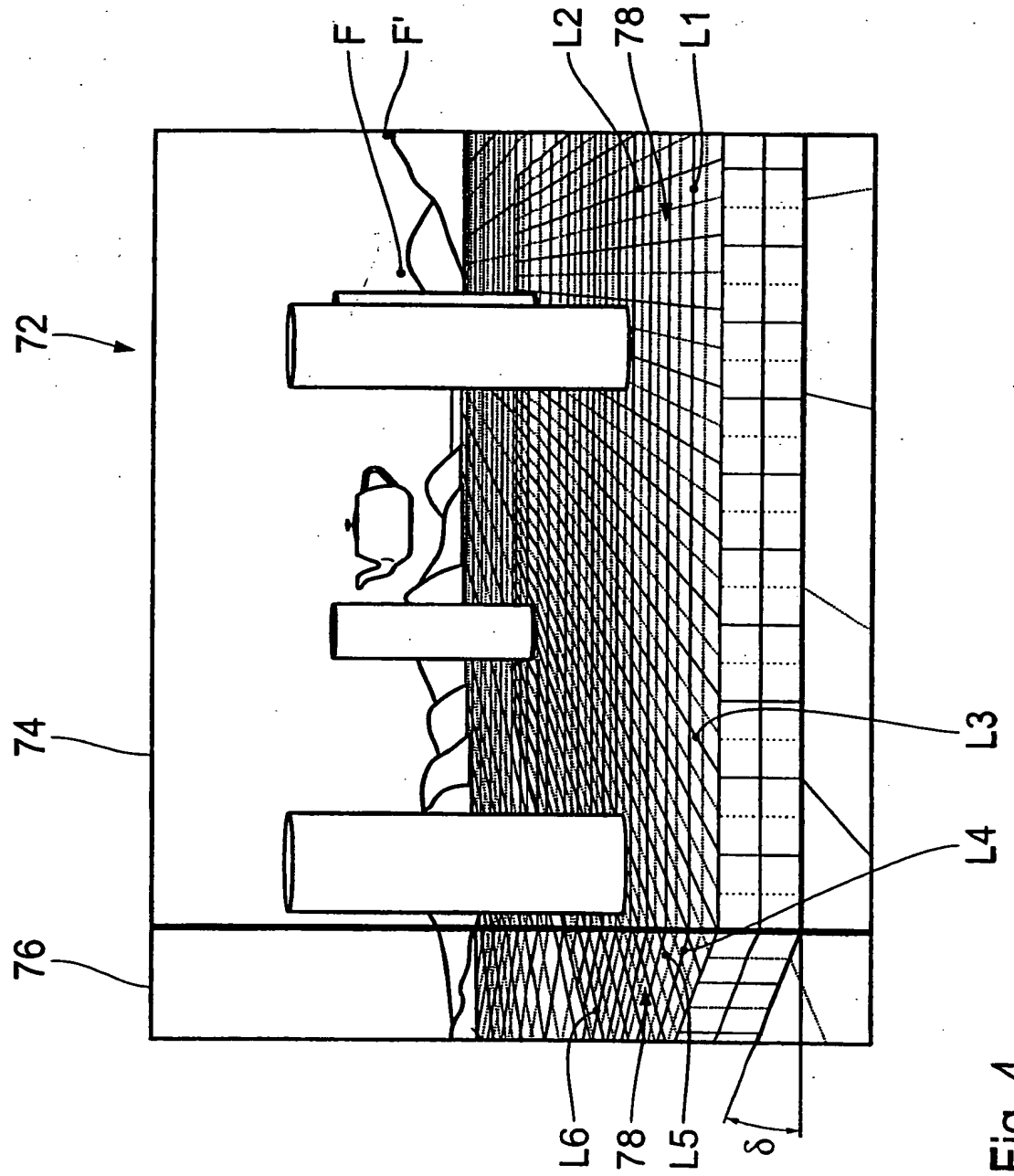


Fig. 4

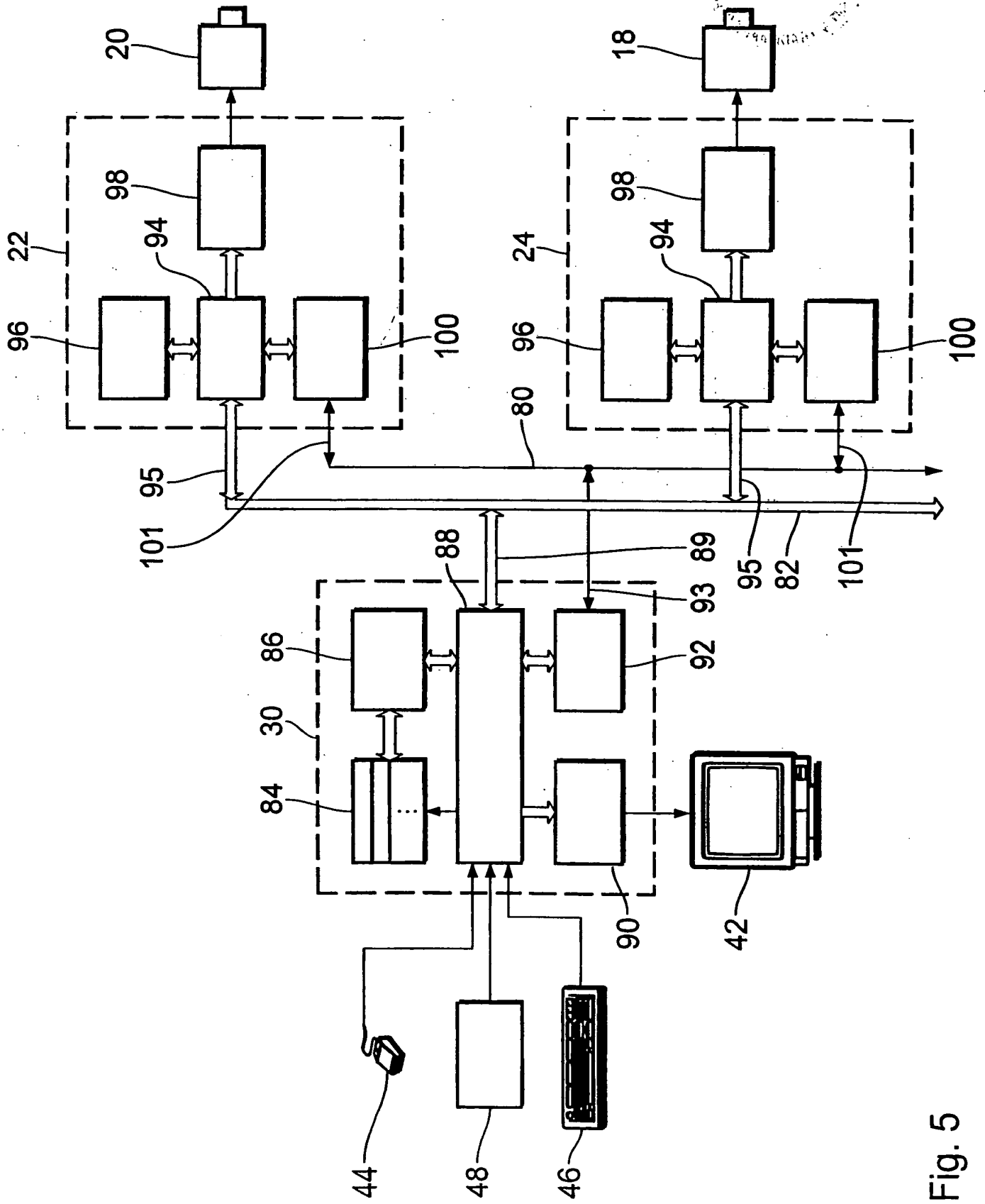


Fig. 5

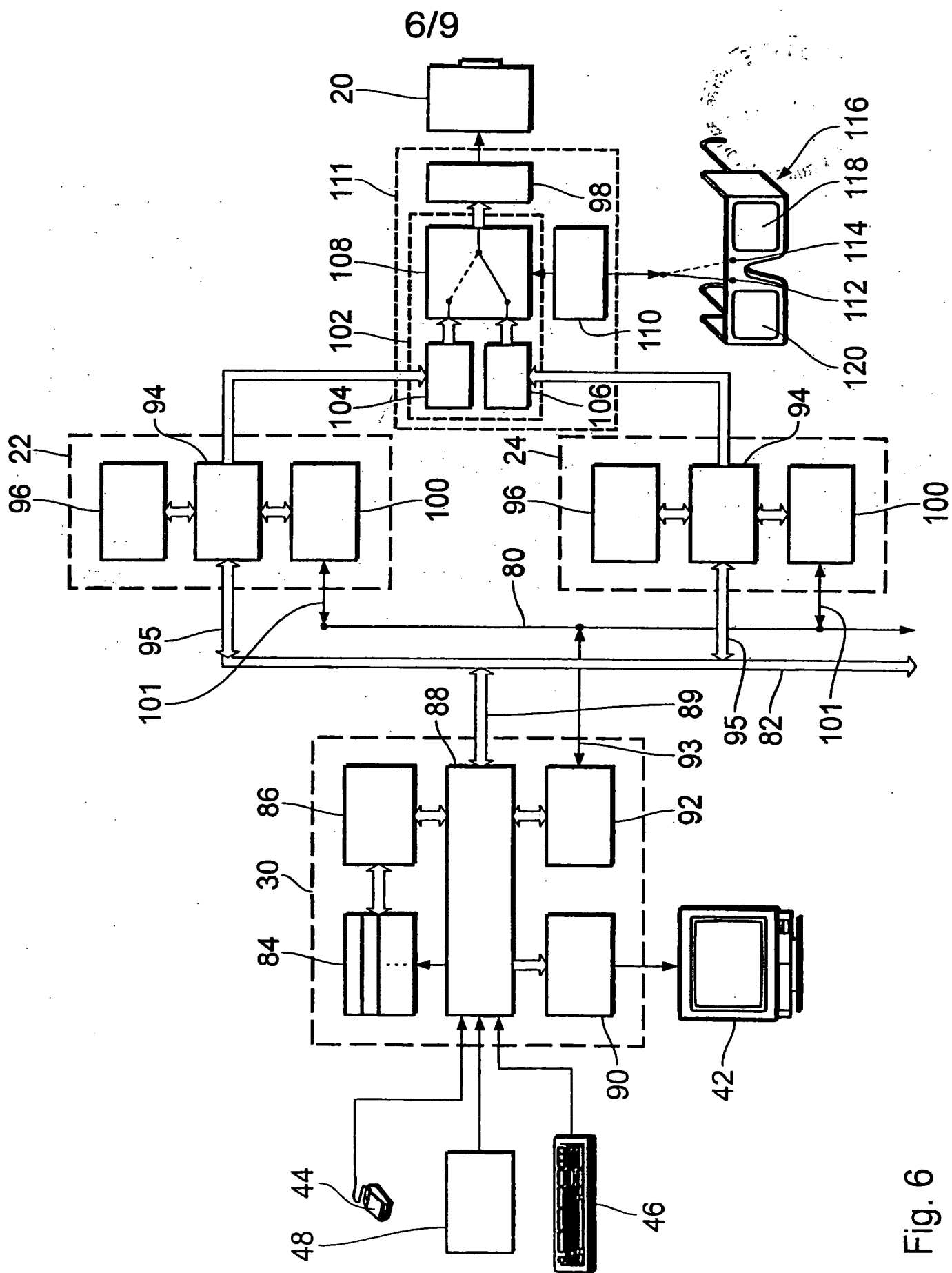


Fig. 6

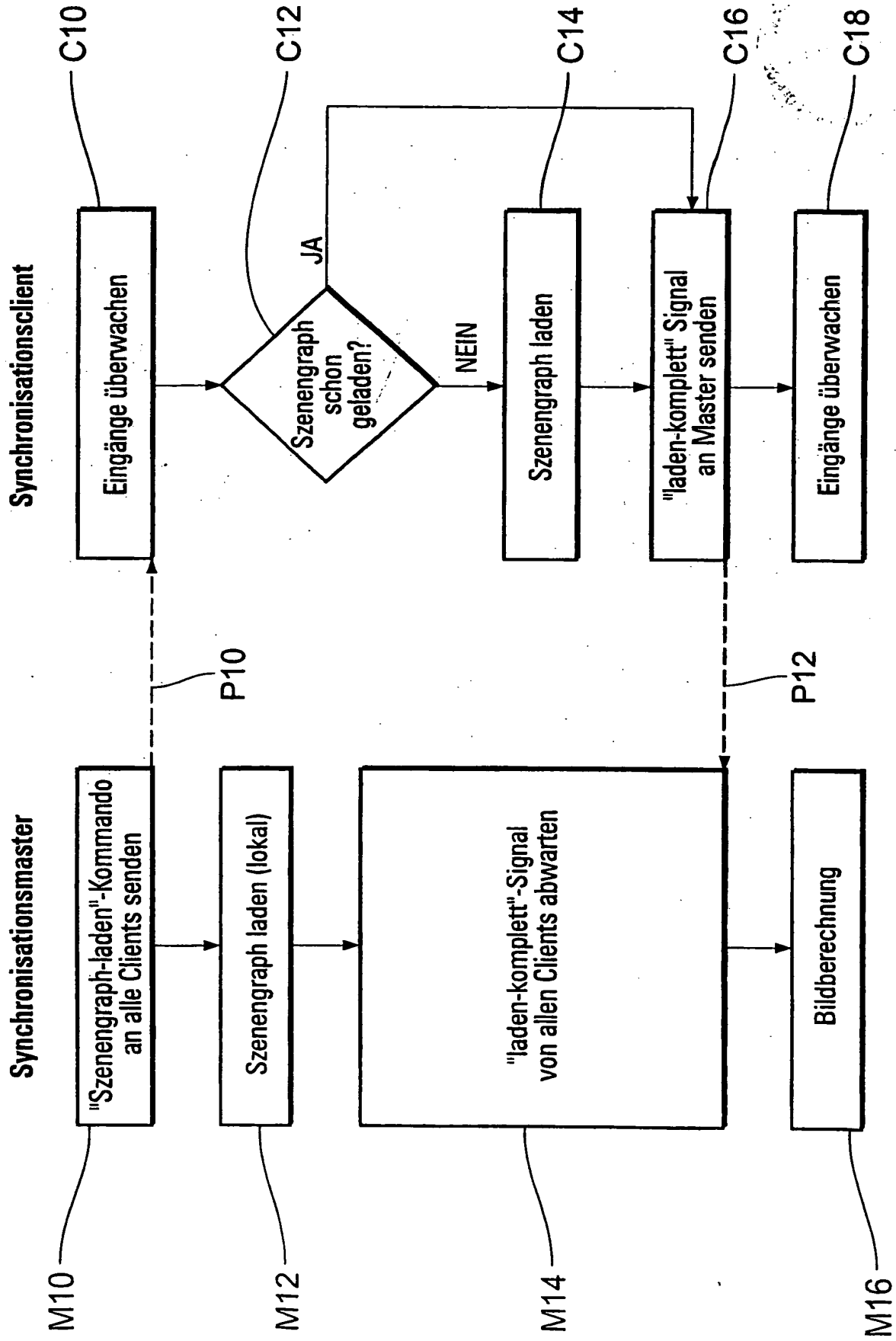


Fig. 7

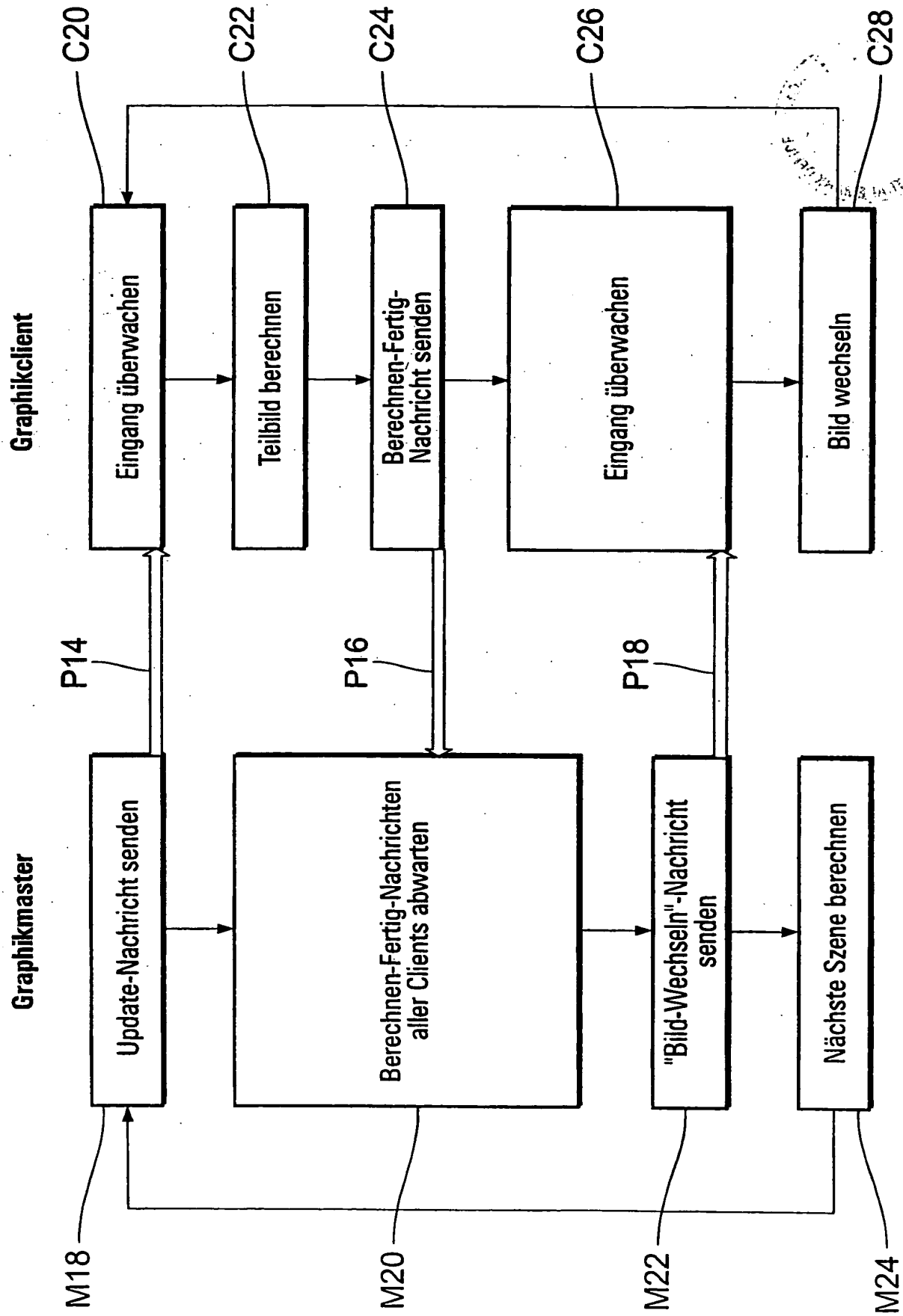


Fig. 8

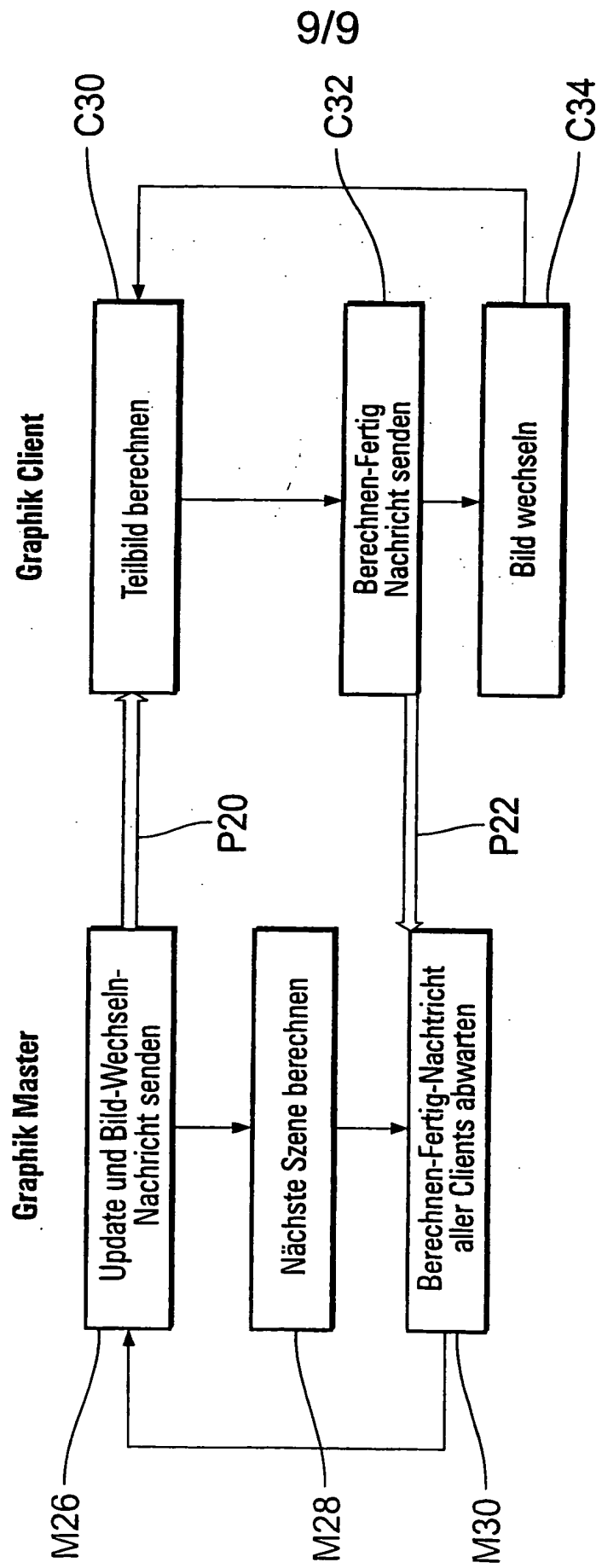


Fig. 9